

UNIVERZITA SV. CYRILA A METODA V TRNAVE

FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED

**VYUŽITIE RETENČNÝCH VLASTNOSTÍ
SUPERABSORPČNÝCH POLYMÉROV AKO
ADAPTAČNÉHO OPATRENIA PRE OCHRANU PÔDY VOČI
KLIMATICKEJ ZMENE**

Diplomová práca

UNIVERZITA SV. CYRILA A METODA V TRNAVE

FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED

Ústav chémie a environmentálnych vied

**VYUŽITIE RETENČNÝCH VLASTNOSTÍ
SUPERABSORPČNÝCH POLYMÉROV AKO
ADAPTAČNÉHO OPATRENIA PRE OCHRANU PÔDY VOČI
KLIMATICKEJ ZMENE**

Diplomová práca

Študijný program: Inžinierstvo životného prostredia

Študijný odbor: 7. - Ekologické a environmentálne vedy

Školiace pracovisko: Ústav chémie a environmentálnych vied FPV UCM v Trnave

Školiteľ: Mgr. Martin Valica, PhD.

Konzultant: doc. RNDr. Miroslav Horník, PhD.

2024

Bc. Juraj Obuch



36122176490277892

UCM Trnava
Fakulta prírodných vied

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Juraj Obuch
Študijný program: inžinierstvo životného prostredia (Jednooborové štúdium, inžiniersky II. st., denná forma)
Študijný odbor: 7. - ekologické a environmentálne vedy
Typ záverečnej práce: Diplomová práca
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Využitie retenčných vlastností superabsorpčných polymérov ako adaptačného opatrenia pre ochranu pôdy voči klimatickej zmene

Anotácia: Zmena klimatických podmienok má väzne dôsledky na životné prostredie a negatívne vplýva na retenciu vody v pôde. Neustále zvyšovanie teploty a nerovnomerná distribúcia dažďov výrazne menia charakter pôdy a jej celkovú úrodnosť. Preto je potrebné hľadať nové nástroje na minimalizovanie týchto negatívnych dopadov. Nedávny výskum v tejto oblasti sa zameriava na aplikovanie tzv. superabsorpčných polymérov (SAP), ktoré vykazujú významnú schopnosť viazania vody v pôde. Cieľom diplomovej práce je vypracovať súčasný stav poznatkov v podobe literárneho prehľadu poskytujúceho informácie o problematike tradičných postupov realizovaných za účelom zlepšenia retenčných vlastností pôdy a taktiež prehľad environmentálne priateľských postupov v podobe aplikácie SAP do pôd s cieľom ochrany a zlepšenia fyzikálno-chemických a produkčných charakteristik pôdy. Experimentálna časť práce bude realizovaná v areáli Výskumného pracoviska v Borovciach (VÚRV, Piešťany), kde sa dlhodobo vykonávajú experimenty zamerané na testovanie rôznych postupov v spojení s aplikáciou SAP za účelom ochrany a obnovy produkčných vlastností pôdy. Táto činnosť bude zameraná na monitoring základných chemických a fyzikálno-chemických pôdnich parametrov a bude realizovaná prostredníctvom pôdnego vzorkovania s následnými laboratórnymi analýzami, ale aj in situ meraniami na lokalite (vlhkosť, pH pôdy a pod.). Na vybraných pôdnich vzorkách sa uskutočnia modelové laboratórne experimenty, kde sa bude sledovať vplyv použitia nového typu SAP so zvýšeným obsahom biodegradovateľnej škrobovej zložky na zadržiavanie vody a živín v pôde. Získané výsledky budú podrobene vzájomnému porovnaniu a diskusii s údajmi uvádzanými vo vedeckých prácach.

Vedúci: Mgr. Martin Valica, PhD.
Oponent: doc. Ing. Stanislav Hostin, PhD.
Katedra: KER - Katedra ekochémie a rádioekológie
Vedúci katedry: Mgr. Peter Nemeček, PhD.

Dátum zadania: 06.11.2022

Dátum schválenia: 09.11.2022 doc. RNDr. Cyril Rajnák, PhD.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému: *Využitie retenčných vlastností superabsorpčných polymérov ako adaptačného opatrenia pre ochranu pôdy voči klimatickej zmene* vypracoval samostatne pod odborným vedením svojho školiteľa s použitím literatúry uvedenej v zozname.

.....

Podpis študenta

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel pod'akovat' môjmu školiteľovi Mgr. Martinovi Valicovi, PhD. za jeho ochotu a odborné vedenie diplomovej práce. Takisto by som sa chcel pod'akovat' doc. RNDr. Miroslavovi Horníkovi, PhD. a RNDr. Vande Adamcovej, PhD. za ich odborné rady. Ďalej by som sa chcel pod'akovat' Mgr. Lenke Vavrincovej za pomoc pri realizovaní experimentov. V neposlednom rade patrí pod'akovanie pracovníkom VÚRV rastlinnej výroby Ing. Rastislavovi Bušovi, PhD., Ing. Romanovi Hašanovi, PhD. a technickým pracovníkom výskumného pracoviska Borovce za odborné rady, asistencie pri odberoch vzoriek pôd a za poskytnutie vzoriek hnojív a odberových zariadení.

Abstrakt

Obuch Juraj, Bc: *Využitie retenčných vlastností superabsorpčných polymérov ako adaptačného opatrenia pre ochranu pôdy voči klimatickej zmene* [Diplomová práca] - Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, Fakulta prírodných vied, Ústav chémie a environmentálnych vied – Školiteľ: Mgr. Martin Valica, PhD. – Stupeň odbornej kvalifikácie: Inžinier – Trnava 2024, 92 s.

Aktuálne prebiehajúce klimatické zmeny majú negatívny vplyv na životné prostredie a distribúciu vody v pôde. V dôsledku čoho tradičné používané poľnohospodárske techniky nemusia byť dostatočným opatrením voči týmto negatívnym klimatickým dopadom. Superabsorpčné polyméry (SAP) predstavujú modernú alternatívu u bežne zaužívaných prístupov na zvýšenie zadržania vody v pôde. Veľké riziko v minulosti používaných SAP spočívalo vo vysokom obsahu toxicických látok, ktoré dlhodobo zotrvačovali v pôde bez výrazného rozkladu. Súčasný trend je v použití biologicky odbúrateľných polymérov, ktoré boli hodnotené v rámci experimentálnej časti práce.

Experimentálna časť sa realizovala v areáli vedecko-výskumného ústavu v Borovciach, kde sa SAP dlhodobo používajú. V rámci práce sa realizovala chemická a fyzikálno-chemická charakterizácia pôdy na danej lokalite s odberom vzoriek pôd pre realizovanie laboratórnych experimentov, ktorých cieľom bolo hodnotenie vodozádržnej schopnosti pôdy pred a po aplikácii SAP. V rámci experimentov boli realizované modelové testovania SAP za účelom sledovania vplyvu rôznych faktorov (agrotechnický prístup, aplikácia hnojív, zvýšená teplota). Súčasťou laboratórnych experimentov bolo hodnotenie absorpčných a retenčných charakteristík SAP (AGRO, SEED, STARCH) v modelových podmienkach (deionizovaná voda, NPK hnojivo s nízkou koncentráciou, NPK hnojivo s vysokou koncentráciou a pôdnym výluh), kde bol zaznamenaný výrazný pokles funkčnosti SAP STARCH v prítomnosti zdrojov dusíka, fosforu a draslíka (48 h - 81 %). Súčasťou laboratórnych experimentov bolo aj overenie aplikácie SAP do pôdnich vzoriek, kde sa nám podarilo zaznamenať v prípade konvenčnej a bezborovej technológie zvýšenie retenčnej kapacity. Prostredníctvom realizovaných kolónových experimentov sa dokázal vplyv nielen chemických, ale aj fyzikálno-mechanických vlastností pôdneho substrátu na funkčnosť SAP, čo je nutné zohľadňovať pri jeho aplikácii v reálnych podmienkach.

Kľúčové slová: klimatická zmena, retencia vody, superabsorpčné polyméry, ochrana pôdy

Abstract

Obuch Juraj, Bc: *Utilization of retention properties of superabsorbent polymers as an adaptation measure for soil protection against climate change* [Master's Thesis] - University of Ss. Cyril and Methodius in Trnava, Faculty of Natural Sciences, Department of Chemistry and Environmental Sciences - Supervisor: Mgr. Mgr. Martin Valica, PhD. - Degree of Professional qualification: Engineer - Trnava 2024, 92 p.

The current climate change is having a negative impact on the environment and the distribution of water in the soil. As a result, the traditional agricultural techniques used may not be a sufficient measure against these negative climatic impacts. Superabsorbent polymers (SAPs) represent a modern alternative to conventional approaches to increase soil water retention. A major risk of the SAPs used in the past was the high content of toxic substances that persisted in the soil for long periods of time without significant degradation. The current trend is to use biodegradable polymers, which were evaluated in the experimental part of the thesis.

The experimental part was carried out on the premises of the scientific research institute in Borovce, where SAPs have been used for a long time. The work included chemical and physicochemical characterization of the soil at the site with soil sampling for the implementation of laboratory experiments aimed at evaluating the water retention capacity of the soil before and after the application of SAPs. In the experiments, model tests of SAP were carried out to observe the influence of different factors (agrotechnical approach, fertilizer application, elevated temperature). The laboratory experiments included the evaluation of absorption and retention characteristics of SAPs (AGRO, SEED, STARCH) under model conditions (deionized water, NPK fertilizer with low concentration, NPK fertilizer with high concentration and soil leachate), where a significant decrease in the functionality of SAP STARCH in the presence of sources of nitrogen, phosphorus and potassium was observed (48 h - 81%). The laboratory experiments also included validation of SAP application to soil samples, where we were able to record an increase in retention capacity in the case of conventional and no-till technology. Through the realized column experiments, the influence of not only chemical but also physical-mechanical properties of the soil substrate on the functionality of SAP was proved, which must be taken into account in its application in real conditions.

Keywords: climate change, water retention, superabsorbent polymers, soil conservation

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Pôdne technológie.....	13
2.1	Konvenčné pôdne technológie.....	13
2.1.1	Vplyv konvenčných technológií na kvalitu pôdy a životné prostredie.....	15
2.2	Minimalizačná technológie.....	17
2.3	Mulčovacie technológie.....	19
3	Bez orbové pôdne technológie.....	20
3.1.1	Vplyv bezorbovej poľnohospodárskej technológie na pôdu a životné prostredie...	22
4	Poľnohospodárske techniky na zlepšenie retencie vody v pôde.....	25
4.1	Superabsorčné polyméry.....	28
4.1.1	Zloženie a klasifikácia SAP.....	29
4.1.2	SAP na báze polysacharidov.....	32
4.1.3	Retenčné vlastnosti SAP.....	32
4.1.4	Parametre vplývajúce na retenčné charakteristiky SAP (pH).....	33
4.1.5	Využitie SAP v poľnohospodárstve.....	34
4.1.6	Vplyv SAP na pôdne vlastnosti.....	38
4.1.7	Vplyv používania superabsorpčného polyméru na životné prostredie.....	40
5	Ciele.....	42
6	Materiál a metódy.....	43
6.1	Prístroje a zariadenia.....	43
6.2	Materiál.....	43
6.2.1	Hnojivá.....	43
6.2.2	Superabsorpčné polyméry.....	43
6.3	Monitorovacia a odberová lokalita.....	44

6.4	Meranie fyzikálno-chemických parametrov pôdy.....	46
6.4.1	Stanovenie salinity a vlhkosti pôdy.....	46
6.4.2	Stanovenie pH a vodivosti.....	47
6.4.3	Laboratórne stanovenie vlhkosti pôdy.....	47
6.4.4	Odber a úprava pôdnych vzoriek pre laboratórne experimenty.....	48
6.4.5	Chemická analýza vzoriek pôd.....	49
6.4.6	Kolónové experimenty.....	49
6.4.7	Stanovenie retenčnej schopnosti SAP v modelových roztokoch.....	56
7	Výsledky a diskusia.....	59
7.1	SEM-EDX analýza vzoriek SAP.....	59
7.1.1	SEM-EDX analýza vzorky SAP STARCH.....	59
7.1.2	SEM-EDX analýza vzorky SAP AGRO.....	60
7.1.3	SEM-EDX analýza vzorky SAP SEED.....	61
7.2	Lokalizačné údaje.....	64
7.2.1	Chemický rozbor vzoriek pôdy.....	64
7.2.2	Fyzikálno-chemický rozbor vzoriek pôd.....	65
7.2.3	Vyhodnotenie vodozádržných vlastností pôdy.....	67
7.2.4	Vyhodnotenie modelových kolónových experminetov.....	70
7.2.5	Stanovenie absorpčných a retenčných charakteristík superabsorpčných polymérov.....	73
7.2.6	Vyhodnotenie retenčných vlastností rôznych SAP v modelovej vzorke pôdy...	75
7.2.7	Vyhodnotenie retenčných vlastností rôznych SAP v modelovej vzorke piesku.	77
8	Záver.....	81

Zoznam ilustrácií a tabuliek

Obr. 1 Hlboká orba uplatňovaná pri konvenčnej technológií	15
Obr. 2 Skleníkové plyny v poľnohospodárstve za posledných 30 rokov.....	17
Obr. 3 Kultivácia pôdy uplatňovaná pri minimalizačnom poľnohospodárstve.....	19
Obr. 4 Špeciálna technológia na podrezávanie pôdy uplatňovaná pri mulčovacom poľnohospodárstve.....	21
Obr. 5 Uplatňovanie bez orbovej technológie na poľnohospodárskych pôdach.....	23
Obr. 6 Priemerný obsah pôdnej vody v rokoch (2006-2008) pri konvenčnej a bez orbovej technológií v rôznych hĺbkach.....	23
Obr. 7 Poľnohospodárska technológia pásového pestovania plodín.....	27
Obr. 8 Využitie stromov ako nástroja k zabráneniu erózii poľnohospodárskych pôdach.....	27
Obr. 9 Uplatňovanie biopásov uprostred parcely ornej pôdy.....	28
Obr. 10 Vytvorené stupňové terasovanie v strmom svahu.....	28
Obr. 11 Využitie agrolesníctva s poľnohospodárstvom pri pestovaní plodín.....	29
Obr. 12 Schematické zobrazenie štruktúry superabsorpčného polyméru.....	31
Obr. 13 Prírodný SAP.....	31
Obr. 14 Syntetický SAP.....	32
Obr. 15 Využitie SAP v oblasti poľnohospodárstva a záhradníctva.....	37
Obr. 16 Rozloženie experimentálnych políčok na lokalite Výskumného pracoviska v Borovciach.....	46
Obr. 17 Znázormenie odberových miest na políčku každej agrotechnológie.....	47
Obr. 18 Multiparametrický prístroj COMBI 5000 (B) s odmernou nádobou na prípravu pôdneho roztoku (A).....	48
Obr. 19 Hĺbkový pôdny vzorkovač.....	49
Obr. 20 Nástroj na drvenie veľkých pôdných agregátov.....	50
Obr. 21 Zhotovené stĺpcové kolóny s výškou 60 cm.....	51
Obr. 22 Fotometer PF-12Plus s kolorimetrickými setmi.....	54
Obr. 23 Modelové pôdne kolóny s rôznymi SAP v procese zalievania.....	56
Obr. 24 Porovnávací test SAP-ov STARCH (A) a AGRO (B) v chemicky čistom piesku.....	57
Obr. 25 Test retenčnej schopnosti SAP v čajových vrecúčkach.....	59
Obr. 26 Mikroskopický vzhľad častíc superabsorpčného polyméru STARCH získaný pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie pri rôznom zväčšení: 100x (A), 300x (B), 500x (C) a 1 000x (D).....	61

Obr. 27 Mikroskopický vzhľad častíc superabsorpčného polyméru AGRO získaný pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie pri rôznom zväčšení: 100x (A), 300x (B), 500x (C) a 1 000x (D).....	62
Obr. 28 Mikroskopický vzhľad častíc superabsorpčného polyméru SEED získaný pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie pri rôznom zväčšení: 100x (A), 300x (B), 500x (C) a 1 000x (D).....	63
Obr. 29 Spektrum hodnotiace zastúpenie významných prvkov vo vzorkách superabsorpčných polymérov AGRO (A), STARCH (B), SEED (C) získané z EDX analýzy.....	64
Obr. 30 Grafické znázornenie priemerných hodnôt pH a vodivosti pôdy na monitorovanej lokalite.....	67
Obr. 31 Grafické znázornenie nameraných hodnôt salinity a vlhkosti pôdy na monitorovanej lokalite.....	68
Obr. 32 Retenčná schopnosť pôdy v odlišných pôdnych vrstvách (10, 20, 30, 40 cm) obhospodarovanej rôznou agrotechnológiou.....	68
Obr. 33 Priemerný obsah vody v pôde pri rôznych agrotechnológiách.....	70
Obr. 34 Množstvá zadržanej vody v modelových pôdnych kolónach.....	72
Obr. 35 Zostatok množstva vody v pôdnych kolónach rôznych agrotechnických typov (A) – konv. (B) – mini. (C) – mulč. (D) – bez. počas 13 dní sušenia.....	73
Obr. 36 Absorpčné a retenčné schopnosti testovaných SAP (AGRO, SEED, STARCH) v modelových roztokoch: A – destilovaná voda; B – roztok hnojiva s nízkou koncentráciou; C – roztok hnojiva s vysokou koncentráciou; D – roztok pôdnych výluhov.....	75
Obr. 37 Absorpčná schopnosť SAP (STARCH a AGRO) v modelovej pôde.....	77
Obr. 38 Retenčná schopnosť SAP (AGRO a STARCH) pri simulácii kolónových testov v chemicky čistom piesku.....	79
Obr. 39 Vytvorenie súdržnej vrstvy vysušenej vzorky piesku so SAP STARCH.....	80
 Tab. 1 Vzorové dávkovanie zložiek (pôda, SAP, NPK hnojivo) do modelových pôdnych kolón.....	52
Tab. 2 Vzorové dávkovanie zložiek (pôda, SAP, NPK hnojivo) do modelových pôdnych kolón s rôznym SAP	55
Tab. 3 Množstvá prídavkov hnojív používaných v experimentoch.....	58
Tab. 4 Obsah kovových iónov v pôde.....	65
Tab. 5 Obsah makro-zložiek v pôde.....	65
Tab. 6 Množstvo stanovených zdrojov dusíka, fosforu a draslíka v pôdnych výluhoch.....	66

Zoznam skratiek a značiek

SAP – superabsorpčný polymér

bez. – bezborbová technológia

konv. – konvenčná technológia

mini. – minimalizačná technológia

mulč. – mulčovacia technológia

tech. - technológia

ŽP – životné prostredie

AGRO – superabsorpčný polymér s granulovým usporiadáním

SEED – superabsorpčný polymér v práškovej úprave

STARCH - superabsorpčný polymér na báze škrobu

LAD – liadok amónny s dolomitom

SF – superfosfát

SD - síran draselný

SAP AGRO_{BF} – superabsorpčný polymér aplikovaný v modelových kolónových testoch bez použitia zadržiavacej fólie.

SAP AGRO_F - superabsorpčný polymér aplikovaný v modelových kolónových testoch s použitím zadržiavacej fólie.

TOC – celkový organický uhlík

VÚPOP – výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy

1 Úvod

Kvalita pôdy je primárny ukazovateľom kvality plodín. V aktuálnej klimatickej situácii je nutné uplatňovať rôzne technické, agrotechnické, biologické alebo iné moderné postupy, ktoré napomôžu adaptáciu poľnohospodárskej krajiny klimatickej zmene. Existujú opatrenia, ktoré dokážu splňať viaceré postupy naraz, teda majú polyfunkčný charakter, napr. zamedzenie vodnej erózii spolu s nadmernou disperziou hnojív v pôde. Pri navrhnutých opatreniach je najskôr nutné sa zamerať na ich primárnu funkciu a následne zohľadniť všetky potrebné funkčné a priestorové parametre. Takisto je nevyhnutným cieľom rešpektovať ekologické, dopravné a estetické funkcie.

Klimatické sucho predstavuje jednu z najhorších prírodných zmien, ktoré aktuálne výrazne ovplyvňujú hospodársky, sociálny a environmentálny stav a vývoj každej krajiny. V súčasnosti sa významne rozširuje vplyvom prebiehajúcej klimatickej zmeny. Sucho sa dá kategorizovať z pohľadu jeho merania na 3 základné typy: meteorologické, hydrologické a poľnohospodárske sucho.

Meteorologické sucho je definované na základe stupňa sucha a trvania suchého obdobia. Je nutné poznamenať, že meteorologické sucho je v jednotlivých regiónoch premenlivé a musí sa považovať za regionálne špecifické.

Dhotrvajúce obdobie s nízkym množstvom zrážok vytvára hydrologické sucho. Trvá dlhšie časové obdobie, kym sa prejaví nedostatok zrážok v zložkách hydrologických systémov ako sú hladiny podzemných vôd, nádrží alebo prietokov vo vodných tokoch. Hydrologické sucho je mimo fázy výskytu meteorologického a poľnohospodárskeho sucha.

Obdobie, kedy úroveň pôdnej vlhkosti neuspokojuje potreby plodín a vegetácie sa nazýva poľnohospodárske sucho. Vrchná vrstva pôdy, ktorá nemá dostatočnú vlhkosť môže obmedziť klíčivosť plodín, a tak znížiť množstvo a konečnú výnosnosť plodín. Potreba vody rastlín závisí od biologických vlastností plodiny, rastového štadia a poveternostných podmienok (UNL Water, 2015).

Deficit dostupnosti vody v pôde je jedným z klúčových faktorov ovplyvňujúci poľnohospodársku produkciu. Voda využívaná na zavlažovanie je čoraz vzácnejšia a v súčasnosti sa hľadajú riešenia, ktoré podporia efektívnosť jej využívania. Poľnohospodársky sektor má najvyššie zastúpenie pri spotrebe pitnej vody. V celosvetovom meradle viac ako 70 % sladkej vody smeruje do poľnohospodárstva (Oladosu a kol., 2022).

Približne iba 40 % vody získanej z jazier, riek a iných vodných plôch podporuje produkciu poľnohospodárskych plodín. Zvyšných 60 % sa stráca vplyvom výparu a hlbokou infiltráciou. Odhaduje sa, že aktuálne celosvetové odbery vody na zavlažovacie procesy predstavujú približne 2 000 až 2 500 km³/rok (Water treatment solutions, 2024).

Nakoľko je hlavným cieľom poľnohospodárstva v čo najväčšom množstve získať potenciálny výnos určitých plodín, tak za týmto účelom sa realizuje niekoľko rôznych prístupov a techník, ktorých cieľom je čo najviac zvýšiť úrodnosť pôdy. Medzi základné opatrenia na udržanie kvality pôd môžeme zaradiť technológie obrábania.

2 Pôdne technológie

Obrábanie pôdy sa najčastejšie vykonáva štyrmi rôznymi poľnohospodárskymi technológiami. Delia sa na 2 skupiny: orbové a bez orbové. Medzi orbové zaraďujeme konvenčnú, minimalizačnú a mulčovaci agrotechnológiu.

2.1 Konvenčné pôdne technológie

Obrábanie pôdy konvenčným spôsobom je najvýznamnejšou operáciou založenou na prevracaním vrchného profilu pôdy. Takto obrábaná pôda sa konvenčným radlicovým pluhom, prevracia v rámci vrchnej vrstvy (približne 20-25 cm), aby sa uvoľnila štruktúra pôdy a vytvorilo sa vhodné osivové lôžko. Pôda sa tak procesom orby obracia, kyprí a premiešava. Je to tradičný postup, ktorý používa časové rozstupy medzi nasledovnými operáciami:

Letná strnisková orba sa môže vykonávať po plynkej orbe strniska alebo po zbere predplodín. Rozpätie hĺbok letnej orby je od 0,12-0,15 m. Je to veľmi plynká orba, kde jej cieľom je narušiť kapiláry a pripraviť pôdu na založenie nového porastu. Oráčina sa musí ošetrovať valcováním alebo bránením, keďže sa orba vykonáva v teplých mesiacoch a mohlo by dôjsť k veľkým stratám pôdnej vlahy.

Stredná predsejbová orba najčastejšie sa vykonáva s časovým odstupom 3 až 5 týždňov pred sejbou. Z dôvodu aby mala pôda čas na zregenerovanie a obnovenie pôdných kapilár, ktoré sú dôležitou súčasťou pri vývoji osiva. Hĺbka orby sa pohybuje medzi 0,18 – 0,24 m. Horná hĺbková hranica sa uplatňuje pre ľahšie pôdy a spodná pre ťažšie. Pri vhodných vlhkostných podmienkach sa vykonáva urovnávanie (bránenie) pôdy. Môže sa vykonávať kombináciou bránenie so smykovaním. Pri nižšej pôdnej vlhkosti sa vykonáva valcovanie, ktoré rozdrví hrudy a zabráni výparu vody. Pri orbe sa používajú rôzne

priemyselné hnojivá, a to najčastejšie draselné, fosforečné alebo dusíkaté. Zdravšou alternatívou je zapracovanie maštaľného hnojiva.

Hlboká jesenná orba sa vykonáva do prvého zamrznutia pôdy. Je to posledná orba v poľnohospodárskom roku. Orba a jej hĺbka sa určuje podľa pôdnych podmienok a druhu plodiny, ktorá bude na parcele vysiata. Štandardom je rozpäťie od 0,24 – 0,30 m a viac závisí od podmienok. Rastliny, ktoré sú hlboko zakoreňujúce sa hĺbka orby stanovená od 0,30 – 0,35 m. Sem patria plodiny ako lucerna siata, cukrová repa. Špeciálnu hlbokú orbu do istej miery limituje i pôdny druh. Musí tu dochádzať k ošetrovaniu pôdy a to hned' po orbe v jeseni procesom smykovania. Smykovanie zabezpečí v celom pôdnom profile vyrovnanú pôdnú vlahu. Pri procese hlbokej orby sa vytvára veľká hrebeňovitost' povrchu, čím sa zachytáva väčšie množstvo zimných zrážok. Pri jarných strukovinách a obilninách sa uplatňuje hlbka orby 0,24 m.



Obr. 1 Hlboká orba uplatňovaná pri konvenčnej technológií. Prevzaté z: (Jedlicka, 2021)

Jarná orba je uplatňovaná len v prípade, keď sa počas jesenných mrazov nestihla poorať celá hospodárska plocha. Vykonáva sa pri primeranom obschnutí a rozmrznutí pôdy. Orba v tomto ročnom období nie je efektívna a radí sa medzi nežiaducu orbu. Pôda stratí veľké množstvo vlahy, ktorá sa v nej kumulovala počas zimných mesiacov. Pri vykonaní orby pri vysokej vlhkosti dochádza k veľkému zhutneniu a tvorbe tvrdých hrúd, ktoré sú prekážkou pri ďalšej príprave pôdy (Ďurian, 2011).

2.1.1 Vplyv konvenčných technológií na kvalitu pôdy a životné prostredie

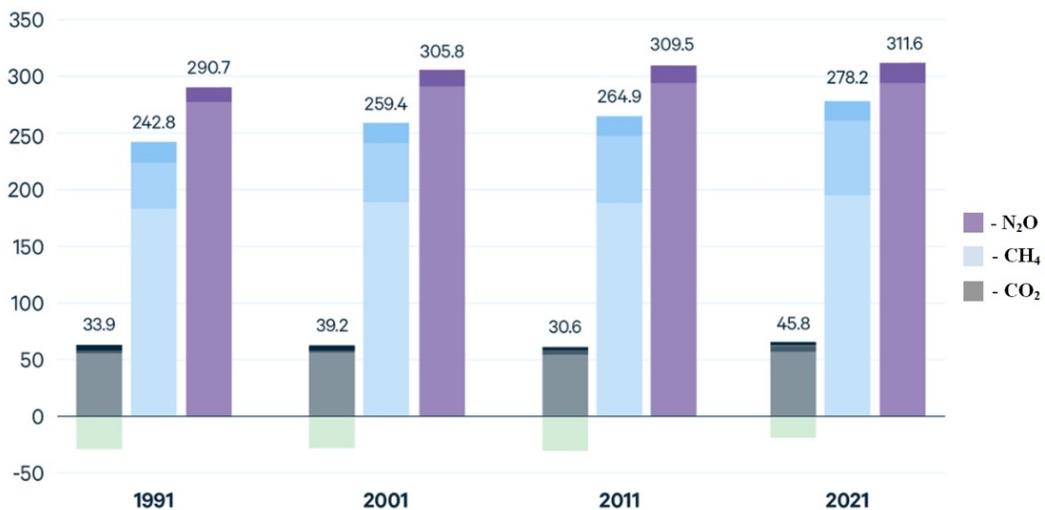
Pri konvenčnom obrábaní sa tvrdý pôdny povrch, tzv. zhutnená vrstva rozrušuje. Cieľom je tvorba spôsobnej kyprej ornice s ideálnymi fyzikálnymi vlastnosťami (Ďurian, 2011).

Tento proces umožňuje vyšší stupeň oxidácie a mineralizácie organickej hmoty, čo je prospiešné pre rast rastlín. Viac živín je premieňaných na formy dostupné pre rastliny. To ale so sebou prináša z dlhodobého hľadiska riziko, kedy zvýšená chemická aktivita môže poškodiť pôdu, pretože pôdna organická hmota je mineralizovaná oveľa vyššou rýchlosťou ako v systémoch s nízkym narušením. Organická hmota je nevyhnutná pre štruktúru pôdy a je klíčová pre dôležité funkcie pôdy. Okrem toho oraný povrch pôdy bez ochranných zvyškov plodín alebo iného rastlinného krytu spôsobuje, že pôda je náchylná na eróziu, a preto je pravdepodobným zdrojom rozptýleného poľnohospodárskeho znečistenia.

Podpora maximálneho výnosu sa pri konvenčnej metóde dosahuje zapracovávaním priemyselných, hospodárskych hnojív alebo organických zvyškov počas orby. Veľký príspevok má aj aplikácia syntetických chemikálií, použitie geneticky modifikovaných organizmov (GMO) a množstva iných priemyselných produktov. Častokrát aplikovanie týchto chemikálií a toxickejších postrekov môže ohrozovať pôdu, vodu, okolitú biodiverzitu a ekosystém.

Konvenčný systém hospodárenia i cez svoju vysokú produktivitu je z veľkej časti neudržateľný. Dochádza k spotrebovaniu veľkého množstva investícii a energie, ktoré nie sú prijateľné pre okolité ekosystémy. Hlavnú energetickú úlohu zohrávajú fosílné palivá. Využívajú sa pri výrobe pesticídov, hnojív, výrobe balení alebo pri mechanizácii poľnohospodárskych procesov (Cristache a kol., 2018).

Poľnohospodárstvo, ktoré využíva konvenčné spôsoby sa nepriamo podielá na činnosti produkcie emisií do atmosféry. Počas 30 ročného obdobia () bol nárast skleníkových plynov nasledovný: CO_2 – 26 %, N_2O – 6,7 % a CH_4 - 12,7 % (Skinner a kol., 2019).



Obr. 2 Skleníkové plyny v poľnohospodárstve za posledných 30 rokov. Prevzaté z: <https://www.rff.org/publications/explainers/agricultural-greenhouse-gas-emissions-101/>

Existujú štúdie, ktoré odhadujú, že emisie skleníkových plynov z výroby hnojív tvoria 10 % celkových emisií, ktoré vytvorí poľnohospodárstvo (Cristache et al., 2018).

Pri pôdnej vlhkosti pod 10 % je orba bezvýznamná. Vzniknuté neorané hrudy sa nedajú spracovať bežným náradím. Pôdy, ktoré majú vysoký obsah štrkov a kameňov sa vplyvom orby dostávajú a koncentrujú vo vrchných vrstvách profilu. Dochádza k redukovaniu obsahu vody v ornici a primárne sú zasiahanuté suché oblasti. V suchých letných mesiacoch dochádza každými 10 mm hĺbky orby k spotrebe 1 litra nafty na 1 ha. Konvenčné obrábanie pôdy spotrebuje asi 35 – 40 % celkového objemu pohonných hmôt v poľnohospodárstve. So zvyšujúcim sa obsahom ílovitých častíc v pôde sa zvyšuje energetická náročnosť. Pri parcelách, ktoré majú svahovitý terén sa zvyšuje riziko vodnej erózie (Ďurian, 2011).

Všetky procesy prispievajú k znečisťovaniu životného prostredia a k vyššej zraniteľnosti ekosystému.

Je známe, že poľnohospodárske postupy ovplyvňujú rozloženie a množstvo mikróbov a spoločenstvá dážďoviek. Po obrábaní pôdy klesá populácia dážďoviek v dôsledku mechanického narušenia ich prirodzeného biotopu a zdrojov potravy. Postupy obrábania taktiež vplývajú negatívnym spôsobom na mikrobiálnu aktivitu. Dochádza k rozrušeniu pôdnich agregátov a kapilár čím sa menia vlastnosti pôdy ako je pôdna vlhkosť, teplota alebo množstvo pôdnej organickej hmoty (Denier et al., 2022).

Hospodárenie konvenčným spôsobom sa využíva na zrýchlenie osevných postupov a to zväčša pri úzkom spektri plodín. Tým sa zvyšuje energetická náročnosť pestovania plodín aplikovaním agrochemikálií – herbicídov. Po dlhšom čase aplikovania práve

agrochemikálií sa vytvoria rezistentné druhy čo vytvára ďalší problém pre poľnohospodárstvo.

Problémom sú i prírodné činitele ako je nerovnomerné rozloženie zrážok na obrábaných plochách, čo spolu so zhutnením a nesprávnou použitou technikou obrábania vytvára prekážky pre rovnomerný vývoj plodín. Akýkoľvek zásah do pôdy, ktorá má vysokú vlhkosť dochádza k jej výraznému zhutneniu a orba stráca svoj účinok. Významný problém pri konvenčnej orbe je prejazd mechanizmu s kolesami po brázdach. Predchádzať vysokému zhutneniu je možné vykonať i so zmenou samotnej orby. Pôdy, ktoré sú citlivé na orbu je nutné používať „on-land“ orby. Pri nej sa používajú špeciálne upravené pluhy, ktoré umožňujú pohyb mechanizmu na nezoranej časti pôdy. Výhodou je že mechanizmus neprechádza kolesami po brázde čo sa vykonáva pri klasickej orbe. Merania dokazujú, že 45 % hmotnosti zadnej časti mechanizmu vyvíja tlak na zadné koleso, ktoré sa nachádza v brázde čo je hlavnou príčinou zhutnenia (Závodský, 2020).

2.2 Minimalizačná technológia

Minimalizačné poľnohospodárstvo je systém obrábania pôdy, ktorý má potenciál chrániť pôdu a vodu znížením ich strát. Technológia je založená na kombinácii obrábania pôdy alebo obrábania pôdy a výsadby. Pri obrábaní sa na povrchu pôdy zachováva 30 % a viac zvyškov plodín.

Minimalizačné obrábanie má rad pozitívnych vlastností. Zlepšujú sa pôdne podmienky čomu pomáhajú primárne rastlinné zvyšky. Lepšia štruktúra pôdy a vyššia infiltrácia vody do pôdy spôsobené vegetáciou na povrchu pôdy a zachované pôdne póry a kapiláry. Redukovaný pohyb ťažkých strojov má pozitívny vplyv na menšie zhutnenie pôdy v porovnaní s konvenčnou technológiou. Pozitívne zmeny sa objavujú po 2 až 3 rokoch pravidelného praktikovania minimalizačnej technológie (TNAU, 2016).

Náročnejšia forma minimalizácie pôdy je jej vertikálne spracovanie. Uplatňuje sa tu okrem kultivácie vrchnej vrstvy pôdy aj hĺbkové kyprenie čo predstavuje ekonomicky a energeticky vyššiu náročnosť. Hĺbkové kyprenie sa nemusí uplatňovať každý rok napr. len každý 3-4 rok. Týmto spôsobom sa náklady rozložia na viac rokov a medzi rokmi sa môže využiť plytšia forma kyprenia. Striedaním hĺbkového kyprenia sa zamedzuje vytvoreniu zhutnejšej vrstvy (Kováč, 2015).

Minimalizačná technológia ponúka 2 spôsoby hospodárenia s pôdou:

Potreby zóny výsadby (riadková zóna) v tejto zóne je potrebné zabezpečiť jemnú ornicu pre optimálnu sejbu a následne rýchle a úplné vzídenie sadeníc. Zóna hospodáriaca s vodou (medziradová zóna) v zóne sa nevykonáva sekundárne obrábanie pôdy. Pôda by mala byť hrudkovitá a jej štruktúra hrubá čo zabráni rastu invazívnych rastlín (burín) a do pôdy sa infiltriuje väčšie množstvo vody (TNAU, 2016).

Zdroje VÚPOP uvádzajú, že na Slovensku je možné minimalizačnú technológiu v repárskych oblastiach využívať na 76 % ornej pôdy a pri kukuričných oblastiach na 56 % ornej pôdy. Technológiu minimalizácie nie je vhodné uplatňovať na horských a zemiakových oblastiach. Najvhodnejšie lokality na Slovensku pre minimalizačné technológie sú v Nitrianskom kraji vyše 300-tisíc hektárov a v Trnavskom kraji takmer 185-tisíc hektárov. V Košickom a Banskobystrickom kraji na výmere takmer 65-tisíc hektárov a v Trenčianskom na 34 500 hektároch. Prešovský kraj predstavuje ideálne podmienky len na pôde s výmerou približne 5000 hektárov (Kováč, 2015).



Obr. 3 Kultivácia pôdy uplatňovaná pri minimalizačnom poľnohospodárstve. Prevzaté z: (England, 2024)

2.3 Mulčovacie technológie

Mulčovanie je proces kde sa najčastejšie zmes mokrej slamy, sypkej zeminy alebo lístia rozloží rovnomerne na povrch pôdy s cieľom minimalizovať straty vlhkosti, burín a zvýšiť úrodu plodín (Iqbal a kol., 2020).

Systém mulčovania je založený na nastielaní povrchu pôdy organickou hmotou. Pôda sa obrába podrezaním (Obr. 4). Strnisko je nadvihnuté, ale nie úplne prevrátené, týmto procesom zostávajú všetky pozberové zvyšky na povrchu pôdy. Menším narušením pôdnej štruktúry sa zmenšuje aj biologická oxidácia tzv. strata organickej hmoty. Po počiatočnej sejbe je pokrytých až 30-75 % pôdy rastlinnými zvyškami (Pospíšil, 2020).

Technológia mulčovania a jej proces sa lísi od geografickej polohy a podnebia v ktorom sa obrábaná pôda nachádza. V suchých oblastiach sa mulč v maximálnom možnom množstve ponecháva na povrchu pôdneho profilu. Pri obrábaní sa využíva stredový podmietač na vytvorenie hrebienkov pre zadržanie vody. Pri vlhkých a premočených miestach sa mulč zakopáva. Sejba sa realizuje pomocou diskových otváračov, ktoré prechádzajú niekoľko centimetrov cez mulč. Medziplodiny využívané pri mulčovacej technológií sú zvyčajne obilniny alebo trávnaté plodiny konkrétnie ďatelina alebo lucerna, ktoré dosiahnu svoj konečný vývoj krátko po založení poľnej plodiny čím poskytujú mulčovací kryt na dlhý čas. Ak rast medziplodiny konkuruje hlavnej plodine v boji o vlahu a živiny, môže sa tento rast zničiť v čase sejby alebo krátko po nej podrezaním pomocou zametania (Steward, 2023).

Základné druhy mulčovania:

Organický mulč je vyrábaný zo živých materiálov. Môže obsahovať lístie, trávu, slamy, sypkej zeminy, drvenej kôry, kompostu alebo ihličia. Organický mulč je prospešný pri upravovaní pôdy. Prírodný mulč nuti dážďovky častejšie prevzdušňovať povrch pôdy čo prospieva k znižovaniu zhutnenia pôdy. Organický mulč sa po určitom čase rozkladá a tým dodáva pôde živiny ako je fosfor, dusík a stopové prvky (El-Beltagi a kol., 2022).

Anorganický mulč sa skladá zo syntetických materiálov ako plast, textília (geotextília), kamene a skaly. Materiály, ktoré sa používajú ako anorganický mulč sa nerozkladajú alebo rozkladajú po veľmi dlhom čase. Týmto spôsobom sa znižujú celkové náklady. Organický mulč je medzi poľnohospodármi viac preferovaný (Barrera, 2018)



Obr. 4 Špeciálna technológia na podrezávanie pôdy uplatňovaná pri mulčovacom poľnohospodárstve. Prevzaté z: (Barrera, 2018)

3 Bez orbové pôdne technológie

Bez orbová agrotechnológia je poľnohospodársky postup, pri ktorom sa uplatňuje postup pestovania plodín bez narušenia pôdy obrábaním. Procesom je priama sejba osiva do pôdy a jej povrch je chránený zvyškami plodín. Bez orbové technológie využívané v praxi umožňujú veľmi efektívne za nízke náklady a krátky čas zasiat' osivo do pôdy. Pri konvenčných postupoch obrábania pôdy je potrebné násobne viac prechodov mechanizmov cez plochu poľa aby bolo možné vykonať počiatočnú sejbu. Bez orbová technológia nevyžaduje proces obrábania pôdy. Pre poľnohospodárov to predstavuje ušetrené palivo, hnojivá, finančné prostriedky a čas. Z ekologického hľadiska je pôdna štruktúra spolu s pôdnou mikrobiotou zachovaná. Technológia bez orby je podľa publikovanej štúdie Scientific America výhodná pre znižovanie nákladov paliva o 50 až 80 % a prácu o 30 až 50 % (Chen a kol., 2023).

Ekologické poľnohospodárstvo bez orby využíva ekologické varianty na ničenie, zníženie a elimináciu burín. Nevyužíva chemické postreky a herbicídy. Využíva striedanie plodín, voľný chov dobytka či krycie plodiny (Spears, 2018). Ak sa plodiny správne striedajú, môžu narušiť cykly hmyzu, chorôb a zamorenie burinou. Zmena plodín znamená aj zmenu typu a načasovania postupov hospodárenia. Tým sa ešte viac narušia škodcovia plodín, napr. kukurica nie je hostiteľom cystotvorného háďatka sójového.

Striedanie plodín poskytuje príležitosť na vytváranie zdrojov a ochranu. Zaradenie krmovín do striedania môže zlepšiť štruktúru osivového lôžka, pridať organickú hmotu a dusík - zatiaľ čo ich pokryv chráni pôdu a vodné zdroje. Každá plodina má osobitný vplyv na prostredie, v ktorom rastie, napr. zvyšky sóje umožňujú rýchle zahriatie osivového lôžka; strukoviny môžu mať husté koruny, ale zároveň pridávajú do pôdy dusík. Na dosiahnutie maximálneho prínosu striedajte trávnaté plodiny s listnatými plodinami, t. j. kukuricou a sójou (Cherlinka, 2023).

Obilniny sa vysádzajú po jesenných zberoch (zimné krycie plodiny). Krytie plodiny majú za účel tvoriť prirodzenú ochranu pôdneho povrchu a to do prvého jarného výsevu. Pre ich rast je potrebná dostatočná vlhkosť a teplejšie podmienky na jeseň pri výseve. Výhodou sú ich ochranné vlastnosti, zabraňujú erózií pôdy, udržujú vlhkosť a nedávajú priestor rastu burinatým rastlinám. Plodiny by mali byť odolné proti silným mrazom.

Jarné alebo letné krycie plodiny primárne slúžia ako krmivo pre poľnohospodárske zvieratá. Používajú sa tak isto ako pri zimných plodinách, zabráneniu erózií pôdy, znemožnenie rastu burín a pre ďalšiu úpravu pôdy. Pri silných horúčavách krytie plodiny zabraňujú rýchlemu pôdnemu vysychaniu. Negatívom je že semená môžu vyvoláť nedostatok dusíka čo sa môže prejavíť pri koncovej úrode (Cherlinka, 2023).

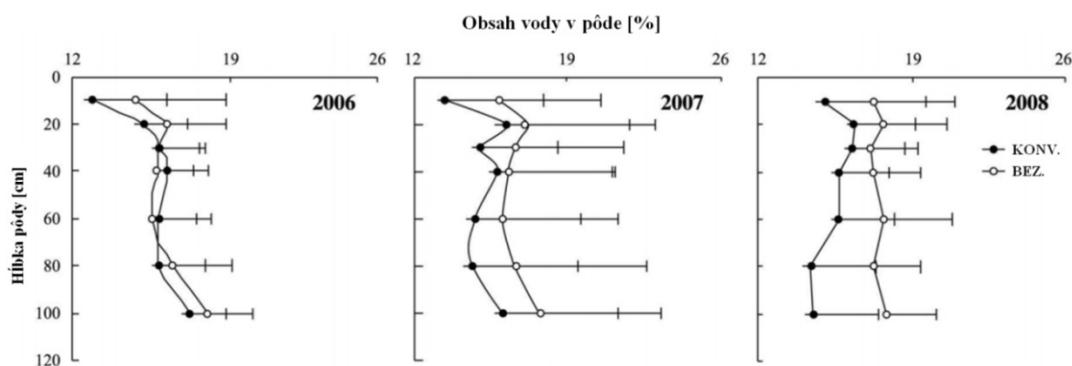
Bez orbová technológia poľnohospodárstva poskytuje vďaka zlepšenej štruktúre pôdy a pokryvom rastlinných zvyškov na povrchu dostatočnú pôdnú vlhkosť, čo vedie k zvýšeniu objemu pôdnej vody, ktorá je nevyhnutná pre rast plodín. Cieľom bez orbového systému je poskytnutie ideálnych podmienok a prostredia pre klíčenie semien a vývoj koreňových systémov plodín.



Obr. 5 Uplatňovanie bez orbovej technológie na poľnohospodárskych pôdach. Prevzaté z: (<https://www.croptracker.com/blog/tillage-and-growing-the-value-of-no-till-farming.html>)

3.1.1 Vplyv bezorbovej pol'nohospodárskej technológie na pôdu a životné prostredie

V porovnávacích testoch retenčnej schopnosti pôdy medzi konvenčnou a bezorbovou technológiou bol zaznamenaný rozdiel v zásobe pôdnej vody v rôznych časových obdobiach. 2,7 – 30,3 % vyšší obsah pôdnej vody bol dosiahnutý pri bez orbovej technológií. Priemerný obsah vody v daných obdobiach pri bez orbovej technológií bol o 3,4 % (2006) vyšší ako pri konvenčnom obrábaní 10 % (2007), 12 % (2008). Najväčší nárast pôdnej vody sa zistil vo vrstve pôdy 10 cm pri BT a to o 15,3 % oproti KT.



Obr. 6 Priemerný obsah pôdnej vody v rokoch (2006-2008) pri konvenčnej a bez orbovej technológií v rôznych hĺbkach. Upravené podľa: (Yu a kol., 2011)

Ďalším pozitívom je zlepšenie infiltrácie a zníženie výparu vody z povrchu pôdy. Bez orbová technológia dopomáha znižovať eróziu pôdy a jej odtok po povrchu a tým aj zabránenie znečistenia blízkych vodných zdrojov. Znížený výpar zlepšuje absorpciu dažďovej

vody, s čím súvisí zvýšená účinnosť zavlažovania. V konečnom dôsledku môžeme pozorovať pozitívny dopad na výnos plodín i v suchých a horúcich letných obdobiach (Jasa, 2015).

Infiltrácia vody je z hľadiska štúdií efektívnejšia pri konvenčnom poľnohospodárstve. Pozorovala sa a porovnávala infiltrácia a makroporéznosť na dvoch odlišných spôsoboch obrábania pôdy. Konvenčné poľnohospodárstvo poskytuje vyššiu mieru infiltrácie na hlinito-hlinitej pôde. Dôsledok vyšej infiltrácie pri konvenčnom spôsobe môže byť spôsobený rozrušením vrchnej pôdnej vrstvy, čo predstavuje približne 20-25 cm, kde má voda väčší priestor pre pohyb. Boli pozorované i zhoršené infiltráčné vlastnosti pod 30 cm až do 1,2 m. Rozrušenie po 25 cm zapríčinuje, že pod 30 cm je pôda v zhutnenom stave čo vytvára nepriepustnú vrstvu. Rýchlosť a efektivita infiltrácie sa značne líši obsahom pôdneho profilu v danej lokalite (Mubvumba, 2023).

Mikroorganizmy, huby a baktérie pri praktikách bez orbového poľnohospodárstva profitujú z minimálneho narušenia pôdnej štruktúry. Organizmy si v nenarušenej štruktúre pôdy môžu založiť spoločenstvá. Ich hlavným zdrojom živín môže byť organická hmota, ktorá sa pri bez orbovom poľnohospodárstve vyskytuje vo veľkých množstvách hlavne vo vrchných vrstvách pôdneho profilu. S vyšším obsahom organickej hmoty sa zlepšuje vnútorná štruktúra pôdy, ktorá zvyšuje pôdnú schopnosť rastu kvalitných plodín s vyšším obsahom živín. Poľnohospodárske techniky bez orbového hospodárstva pomáhajú zachovať úrodnosť pôdy. Obrábanie pôdy zasahuje veľkou časťou do rovnováhy fauny a flóry následkom čoho je zmena rozloženia mikrokomunít. Pozitívom obrábania je kontrolovanie pôdnych škodcov a lariev.

V štúdií vplyvu bezborových a konvenčných systémov obrábania pôdy na mikrobiálne spoločenstvá pôdy sa zistilo, že v pôde bez obrábania dochádza v dôsledku akumulácie zvyškov plodín na povrchu pôdy k obohateniu pôdnej organickej hmoty v povrchovej vrstve a následne k zvýšenému výskytu mikroorganizmov. Táto štúdia preukázala konzistentné zvýšenie početnosti húb, baktérií, arbuskulárnych mykoríznych húb a aktinobaktérií v povrchovej vrstve pôdy bez obrábania. Miesto štúdie sa nachádzalo v Tennessee Valley Research and Extension Center v Belle Mina, Alabama, USA. Pôdnym typom bola sprašová hlina Decatur (jemný, kaolinitický, termický rodový paleudult). Poľný pokus bol usporiadany v randomizovanom kompletnom blokovom faktorovom usporiadanií so štyrmi opakovami, pričom hlavným faktorom bolo obrábanie pôdy (Mathew a kol., 2012).

Pôdy pri bezborovom obrábaní majú väčšie množstvo rastlinných zvyškov a vyšší obsah pôdnej organickej hmoty v povrhovej vrstve, čo má za následok zvýšenú infiltráciu a

vyššiu schopnosť zadržiavať vodu ako pôdy pri konvenčnom obrábaní. Pôdy bez obrábania majú teda nielen vysoký obsah dostupného substrátu, ale sú aj vlhšie, chladnejšie a menej kolíšu vo vlhkosti a teplote. Tieto podmienky stimulujú rast a aktivitu pôdnich mikroorganizmov. Okrem toho existujú aj dôkazy, ktoré naznačujú, že chemické zloženie a štruktúra pôdnej organickej hmoty sú pri konvenčnom a konzervačnom systéme obrábania pôdy odlišné.

Jedným z najbežnejších ukazovateľov kvality pôdy sa považuje organický uhlík. Pôda je najväčším úložiskom uhlíka. Uchováva ho približne 2 500 miliárd ton, čo predstavuje viac uhlíka ako atmosféra (780 miliárd ton) a rastliny (560 miliárd ton) dohromady (Soane a kol., 2012). Vďaka uhlíku vieme zistiť zdravie a úrodnosť pôdy. Zmenu koncentrácie CO_2 v atmosféri môže spôsobiť malá percentuálna zmena C v pôde (Yang a kol., 2022).

Sekvestrácia pôdneho uhlíka je pri bez orbovom poľnohospodárstve z časti nenarušená. Obrábaním pôdy sa sekvestrovany pôdny uhlík uvoľňuje do atmosféry. V atmosfére reaguje s atmosférickým kyslíkom, ktorý sa viaže na CO_2 čo spôsobuje skleníkový efekt (Cherlinka, 2023). Smith a kol. (1998) výpočtami zistili ročný odhad sekvestrácie uhlíka v bez orbovej oblasti na približne $0,4 \text{ ton.C.ha}^{-1}$ za rok. Sekvestračný prínos má okrem iného i udržiavanie 2 až 10 t slamy na povrchu pôdy čo približne pridáva 0,2 až $0,7 \text{ ton.C.ha}^{-1}$.

Zmeny koncentrácií C v pôde sú zaznamenané pri agronomických postupoch obrábania pôdy. Ukladanie a koncentrovanie organického uhlíka bez orbovej technológií sa zvyšuje pri pôde s nenarušenou vrchnou štruktúrou pôdneho profilu. Uhlík sa tak stabilizuje a uloží. Opakom boli pozorované vyššie emisie CO_2 pri bez orbovej technike. V severnom Francúzku boli počas 331 dňového pozorovania zistené vyššie rozdiely emisií pri neobrábanej pôde $4064 \text{ kg CO}_2 \text{ C/ha}^{-1}$ ako pri obrábanej $3160 \text{ kg CO}_2 \text{ C/ha}^{-1}$. Spojenie vyšších emisií pri neobrábanej pôde sa pripisuje k povrchovému rozkladu starých zvetraných zvyškov a to pri veľmi teplom počasí počas monitorovacieho obdobia

Pri intenzívnom obrábaní pôdy sa uložené časti uhlíka uvoľňujú z pôdnich agregátov, čo vedie k znižovaniu sekvestrácie uhlíka a zvýšeným emisiám CO_2 v atmosfére. Pôdne obrábanie má počas celého vegetačného obdobia kumulatívny efekt vďaka zvýšenému mikrobiálному rozkladu, čo zapríčinuje 20 % navýšenie emisií CO_2 . Tento efekt spôsobuje väčšie dýchanie koreňových systémov pri procese orby a to hlavne pri teplých ročných obdobiach (Soane a kol., 2012).

Existujú faktory, ktoré môžu ovplyvňovať množstvo sekvestrácie C pri bez orbovom hospodárstve. Zaraďujeme sem teplotu, topografiu, zrážky, typ plodín alebo charakteristiku

plodín čo úzko súvisí s množstvami rastlinných zvyškov a ich koreňovou distribúciou. Nezvyčajným faktorom je sklon. Na šikmých hospodárskych plochách je zvýšené množstvo organického uhlíka ako v oblastiach s rovnou krajinnou štruktúrou. Porovanie je i v korelácii s indexom suchosti. Priemerný ročný nárast pôdneho uhlíka v BT v porovnaní s KT bol $0,32 \text{ Mg ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ a $0,21 \text{ Mg ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ (Novara a kol., 2021). West a Post (2002) odhadom zistili potenciálnu sekvestráciu uhlíka pri bez orbovom poľnohospodárstve na $0,57 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ (hodnota celosvetovo) (Chellappa a kol., 2021).

Hospodárstvo nesie veľkú zodpovednosť za zadržiavanie pôdnej vody. Nesprávne spôsoby obrábania zapríčinujú eróziu pôdy, odtok organickej hmoty čo môže zapríčiniť v nížinách povodne s čím úzko súvisí zanášanie vodných zdrojov a ich kontaminácia. Pri výdatných nárazových dažďoch nestíha pôda infiltrovať dažďovú vodu čo zapríčinuje extrémny povrchový odtok na poľnohospodárskych pôdach.

Existujú metódy, ktoré využívajú ochranný úchinok vegetačného krytu. Ich aplikovaním dochádza k zníženiu povrchového odtoku. Pri meraní odtoku po povrchovom horizonte sa musí dbať pozornosť na geografické rozloženie meranej oblasti. Ďalej na pôdne vlastnosti, klimatické podmienky a topografiu. Jednou z najvyužívanejších metód na získanie dát o infiltrácii, odtoku, erózii a retencii pôdnej vody je simulátor zrážok. Simulátor zrážok sa veľmi často používa pri terénnych a laboratórnych experimentoch a to na posúdenie vegetačného krytu či obrábania pôdy (Hlavčová a kol., 2019).

4 Pol'nohospodárske techniky na zlepšenie retencie vody v pôde.

V rámci poľnohospodárstva sa na zlepšenie kvality pôd využívajú rôzne poľnohospodárske technológie:

Pásové pestovanie plodín: agrotechnický prístup v ktorom sa uplatňuje výsadba do pásov po vrstevnici. V jednom páse sú plodiny náchylné na erózne podmienky a v druhom sú plodiny odolné voči erózii. Šírka pásov má interval 20 až 40 m. Týmto prístupom sa kontroluje povrchový odtok čo umožňuje zachytávať väčšie množstvo zrážok.



Obr. 7 Poľnohospodárska technológia pásového pestovania plodín. Prevzaté z: (Earthhow, 2024)

Vetrolamy (výsadba stromov a kríkov): Na alebo pri hranici ornej pôdy sa vysádza rad stromov alebo kríkov s výškou nad 3 metre. Vetrolamy majú väčšinou rovnaký rozostup. Do šírky 4 metre a ich minimálna dĺžka je 30 metrov. Slúžia ako bariéry na spomalenie vetra, zachytávanie pôdných častíc a chránia pôdu pred pôdnou eróziou. Tvoria mikroklimu (zníženie výparu), zvyšujú vlhkosť a udržujú v oblasti aktívnu biotu.



Obr. 8 Využitie stromov ako nástroja k zabráneniu erózií poľnohospodárskych pôdach. Prevzaté z: (Sottosanti, 2023)

Multifunkčné okraje polí: multifunkčné biopásy vytvorené na okraji alebo vnútri parcely ornej pôdy. Pásy by mali byť rozmerovo minimálne 5 metrov široké a 200 metrov dlhé ($1000 m^2$). Biopásy sú zväčša tvorené kombináciou osiva a kvitnúcich rastlín. Tak môžu plniť kŕmnú alebo nektárodarnú funkciu.



Obr. 9 Uplatňovanie biopásov uprostred parcely ornej pôdy. Prevzaté z: (Talukdar et al., 2023)

Terasovanie: zmena terénnych vlastností v poľnohospodárskej oblasti. Technológia, ktorá sa využíva v strmých svahoch so sklonom min. 15 %. Budujú sa ako široký plochý priestor 5 – 20 m po prípadne ako stupňovitá terasa s výškou od 1-3 m. Priečny sklon vytvorennej terasy býva zvyčajne 3 – 5 %. Výsledkom terasovania je zabránenie erózie pôdy, odtoku vody a zachovanie dostatočnej vlhkosti pôdy.



Obr. 10 Vytvorené stupňové terasovanie v strmom svahu. Prevzaté z: (Talukdar a kol., 2023)

Agrolesníctvo: kombinuje poľnohospodárske plodiny so stromami, kríkmi alebo hospodárskymi zvieratami. Tento typ technológie sa využíva primárne na neúrodných pôdach alebo tam kde pôda podlieha erózií. Zvýšenie odolnosti voči erózií zabezpečujú korene, ktoré udržujú pôdne agregáty pokope vďaka ich širokému rozmiestneniu v pôde. Ďalej pomáhajú zvyšovať infiltráciu, znižovať povrchový odtok. Výhodou je organická hmota, ktorá je dodávaná do pôdy vo forme listov (Muchová, 2024).



Obr. 11 Využitie agrolesníctva s poľnohospodárstvom pri pestovaní plodín. Prevzaté z:
[\(<https://www.quora.com/What-are-the-examples-of-agroforestry>\)](https://www.quora.com/What-are-the-examples-of-agroforestry)

Minimalizačná, bez orbová, mulčovacia/nastielacia technológia alebo vrstevnicové obrábanie pôdy sú opatrenia využívané v poľnohospodárstve a preukázateľne účinné na dosiahnutie trvalo udržateľnej kvality pôd. Ďalej sem môžeme zaradiť jamkovanie povrchu pôdy, zdrsňovanie povrchu pôdy či využitie ochranných medziplodín (Talukdar a kol., 2023).

Pre zvyšovanie kvality pôdy a pestovaných plodín sa aktuálne využíva inovačný nástroj superabsorpčný polymér (SAP) (Muchová, 2024).

4.1 Superabsorčné polyméry

Superabsorpčné polyméry (SAP) alebo hydrogély sú polymérne materiály schopné absorbovať a zadržiavať mimoriadne veľké množstvo vody, a to 100 až 1000-násobok svojej hmotnosti čo predstavuje 1 000 - 100 000 % (10 - 1 000 g/g) k suchej hmotnosti. Pri bežných hydrogéloch adsorpčná schopnosť nepredstavuje ani 100 % (1 g/g) k suchej hmotnosti (Zohuriaan, 2008)

Prvá generácia hydrogélov bola vytvorená koncom 50. rokov 20. Storočia. Ich napučiavacia účinnosť bola okolo 40 – 50 %. Hydrogély prvej generácie sa využívali počas vývoja kontaktných šošoviek. V roku 1966 za dokázalo získať superabsorpčný produkt v regionálnom výskumnom laboratóriu Ministerstva poľnohospodárstva USA. Výrobu realizovali technológiou štiepenia akrylonitrilu na pšeničný škrob čím sa získal materiál, ktorý dokázal absorbovať vodu 300 až 1 000-násobkom vlastnej hmotnosti. Neúspechom tohto produktu boli primárne vysoké náklady a nedostatočná pevnosť gélu (Qureshi a kol., 2020).

V roku 1970 bol vyrobený prvý SAP na komerčné účely, a to alkalickou hydrolyzou škrobového graft-polyakrylonitrilu. Spoločnosť Professional Medical Products v roku 1978 po prvý krát použila SAP v hygienických vložkách (Yang a kol., 2021).

SAP sa začal priemyselne vyrábať začiatkom 80. rokov v Japonsku a Spojených štátach. Bol viac dostupný a začal sa používať v širšom rozsahu aj v poľnohospodárstve. K dispozícii bol prvý komerčne dostupný SAP pre poľnohospodárstvo na báze polyakrylátu draselného, ktorý bol schopný spĺňať retenčné požiadavky (Zohuriaan, 2008).

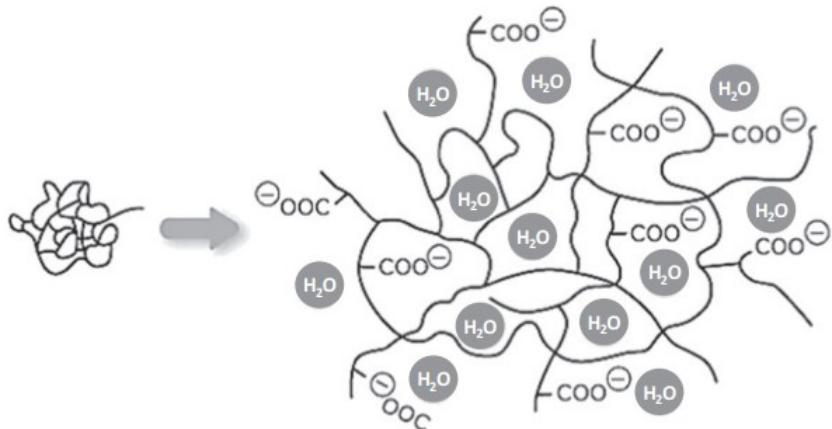
Od roku 2000 sa vývojári zamerali na vplyv SAPu k ŽP. Integrácia s udržateľnými agrotechnologickými prístupmi ich prinutila k vývoju biologicky odbúrateľného SAPu, ktorý by po rozklade nekontaminoval ŽP, a tak by sa eliminovali negatívne účinky na pôdu.

Počiatočný vývoj biologicky odbúrateľných a ekologických hydrogélov na báze prírodných materiálov začal od roku 2010 a trend vývoja pokračuje, kde v roku 2020 sa výskum primárne zameriava na odolnosť plodín voči klimatickej zmene za pomoci aplikácie SAP (Matushek, 2019).

4.1.1 Zloženie a klasifikácia SAP

SAP sú tvorené z trojrozmerných polymérnych sietí, ktoré nie sú rozpustné vo vode a nesú disociované iónové funkčné skupiny. Vo vodnom prostredí výrazne zväčšujú svoj objem vďaka hydrofilným skupinám pripojeným k ich polymérnej kostre. Medzi hydrofilné skupiny (zosietované polyelektrolyty) sa riadia karboxylové, hydroxylové a aminoskupiny (Behera, 2020).

Vďaka iónovej povahе polymérov a ich prepojenej štruktúre dokážu absorbovať veľké množstvá vody a roztokov bez ich rozpúšťania solvatáciou molekúl vody. Absorpčná schopnosť SAP je podmienená najmä medzi osmotickým tlakom napučaného gélu a vonkajším roztokom. Osmotický tlak je založený na pohyblivých protiontoch a afinité medzi elektrolytom a vodou (Kiatkamjornwong, 2007).



Obr. 12 Schematické zobrazenie štruktúry superabsorpčného polyméru. Prevzaté z:
(Miyajima a kol., 2020)

Delenie SAP na dve hlavné triedy podľa materiálu:

Prírodné SAP sú tvorené na báze polysacharidov (napr. škrob, celulóza, agaróza a alginát) a ostatné na báze polypeptidov (napr. kolagén alebo želatína). Výhodou je ich prirodzená rozložiteľnosť, biokompatibilita, obnoviteľnosť a šetrnosť k ŽP. Zvyčajne sa prípravujú pridávaním syntetických častí na prírodné substráty. Pre zložitý proces extrakcie sú nákladnejšie ako niektoré syntetické polymery. Vysoké výrobné náklady a nízka účinnosť prírodných SAP často obmedzuje ich využitie v praxi.



Obr. 13 Prírodný SAP. Prevzaté z: (<https://www.ecoviarenewables.com/azuragel>)

Syntetické SAP na petrochemickej báze (napr. kyselina polyakrylová, kyselina metakrylová, vinylacetát, polyetylénglykol). Majú vo všeobecnosti vyššiu hydrofóbnosť a mechanickú pevnosť ako prírodné polymery. Mechanická pevnosť SAP zvyšuje ich trvanlivosť a skladovateľnosť. Nevýhodou syntetických SAP je, že i po niekoľkých rokoch sa v pôde

nerozložia, čím sa vytvára veľká záťaž na ŽP. Kombinácia syntetických SAP s prírodnými by mohla využiť vlastnosti a schopnosť biologickej odbúrateľnosti (Chang a kol., 2021).



Obr. 14 Syntetický SAP. Prevzaté z: (<https://www.hnsecco.com/Super-Absorbent-Polymer-SAP.html>)

Klasifikácia SAP na základe prítomnosti alebo neprítomnosti elektrického náboja v zosieťovaných reťazcoch:

- a) neiónové – schopné absorbovať kvapalinu bez iónového náboja, čo ovplyvňuje ich interakciu s inými látkami,
- b) iónové (vrátane katiónových a aniónových) – ich molekulovú štruktúru tvorí kladný (katiónový) alebo záporný (aniónový) náboj,
- c) amfoterné elektrolytické (amfolyticke) - obsahujú kyslé (aniónové) a zásadité (katiónové) skupiny, čo umožňuje prispôsobovanie sa podmienkam a integrácie so širokou skupinou látok.
- d) zwitteriónové (polybetaíny) – tvoria ho kladné a záporné náboje obsiahnuté v jednej molekule, ktorá je elektricky neutrálna. Pre špeciálnu štruktúru je schopný absorbovať vysoké množstvo vody.

Klasifikácia podľa typu monomérnej jednotky použitej v ich chemickej štruktúre:

- a) zosieťované polyakryláty a polyakrylamidy
- b) hydrolyzované kopolyméry celulózy a polyakrylonitrilu (PAN) alebo štepené kopolyméry škrobu a PAN
- c) zosieťované kopolyméry maleinanhydridu (Behera, 2020).

4.1.2 SAP na báze polysacharidov

Polysacharidy ako prírodné polyméry (biopolyméry) sa môžu využívať na syntézu SAP. Môžu byť zložené z jedného homopolysacharidu alebo viacerých heteropolysacharidov. Medzi homopolysacharidy sa zaraďuje celulóza, škrob, alginát alebo karagenan a v prípade heteropolysacharidov sa jedná o agarózu a chitosan. Najviac využívané polysacharidy v praxi sú celulóza, alginát, karagenan, chitosan, škrob, agaróza a pektín.

Medzi aniónové sa zaraďuje alginát a karagenan, katioónové reprezentuje chitosan a neiónové – guarová guma. Väčšia časť polysacharidov je netoxická, biologicky odbúrateľná a obnoviteľná (Llanes a kol., 2020).

Polyméry z polysacharidov sa zaraďujú medzi najrozšírenejšie, najlacnejšie a najdostupnejšie materiály. Obsiahnuté hydroxylové skupiny im vytvárajú silnú vlastnosť viazania molekúl vody.

Pri príprave SAP na báze polysacharidov sa delia reakcie do dvoch hlavných skupín:

- a) štepová kopolymerizácia vhodného vinylového monoméru (monomérov) na polysacharid v prítomnosti zosiet'ovacieho činidla
- b) priame zosiet'ovanie polysacharidu (Zohuriaan, 2008).

Veľká časť polysacharidov nedokáže vytvárať stabilné formy hydrogélov čo je pre aplikácie v praxi nevyhnutné. Preto sa z dvoch alebo viacerých polymérnych reťazcov, ktoré sú na prírodnej alebo syntetickej báze vytvára viacvrstvovú siet'ovú štruktúru. Vykonané chemické zosiet'ovanie vytvára stabilnejšiu siet' odolnú voči vonkajším podmienkam. Primárnu nevýhodou chemického zosiet'ovania je toxicita zvyškových vinylových siet'ovadiel, čo môže vytvárať problém pri syntéze netoxických SAP (Pérez-Álvarez a kol., 2019).

4.1.3 Retenčné vlastnosti SAP

Dôležitými vlastnosťami SAP je ich schopnosť napučiavania a absorpcie vody. SAP sa skladá z polymérovej kostry, ktorá obsahuje skupiny karboxylových kyselín (-COOH). Karboxylové kyseliny veľmi ochotne viažu molekuly vody. Schopnosť zadržiavania vody závisí od hustoty zosiet'ovania a počtu hydrofilných skupín. Po zmiešaní SAP s vodou dochádza k tvorbe vodíkových mostíkov a hydratácií. Ióny ako COO^- , K^+ alebo Na^+ pritahujú polárne molekuly vody. Molekula vody je schopná so svojimi vibráciami rozštiepiť iba vodíkové väzby. Samotný SAP voda nedokáže rozpustiť z dôvodu jeho silného kovalentného zosiet'ovania (Oladosu a kol., 2022).

Prevažná väčšina SAP obsahuje iónové skupiny, ktoré disociujú vo vodnom prostredí a vytvárajú celkovú hustotu náboja. Iónové skupiny prispievajú k zvýšeniu koncentrácie pohyblivých iónov a osmotickému tlaku v SAP. Schopnosť nadmernej absorpcie vody sa pripisuje rozdielu medzi osmotickým tlakom SAP a vonkajším roztokom (Behera, 2020). Retenčné vlastnosti sa primárne stanovujú gravimetrickou metódou.

4.1.4 Parametre vplývajúce na retenčné charakteristiky SAP (pH)

Polyakrylát sodný je jeden z mnohých typov SAP schopného absorpcie vody. Keď sa polymér dostane do kontaktu s vodným prostredím, sodík sa začne rovnomerne rozkladať medzi polymérovú sieť a vodu. Časť atómov sodíka opúšťa polymérnu sieť a presúvajú sa k molekulám vody. Prázne miesta po sodíku nahradia molekuly vody, ktoré sa snažia vyrovnať koncentráciu sodíka medzi polymérom a vodou. Rozdiel absorpcie vody pri polyakrylate sodnom je práve absorpcia pri laboratórnych (destilovaná voda) a v reálnych podmienkach. Jeho schopnosť absorpcie destilovanej vody je 800-násobok jeho hmotnosti, kde absorpcia vodovodnej vody je iba 300-násobok jeho hmotnosti. Voda z vodovodu obsahuje už určité množstvá sodíka, vápnika a iných minerálov (University, C.M, 2022).

Schopnosť absorpcie SAP je značne ovplyvnená pH a koncentráciou iónov v roztoku. Vysoká koncentrácia iónov v roztoku má výrazný vplyv na zníženie absorpcnej kapacity vody. Zníženú absorpciu môže spôsobovať chelatačný účinok viacvalentných kationov s funkčnými skupinami polyméru. Tým vznikne z voľne zabalenej siete polyméru pevne zabalená sieť, do ktorej je vstup vody veľmi obmedzený.

Silne kyslé prostredie spôsobuje nahradzanie H⁺ iónov kationmi v molekulovom reťazci, čo má za následok znížovania rozdielu osmotického tlaku. Ďalej dochádza k zvýšeniu tvorby vodíkových väzieb, a tým sa stáva sieťová štruktúra kompaktnejšia, obmedzuje sa relaxácia a pohyb molekulového reťazca, a to vedie k menšej absorpcii vody.

Silne alkalické prostredie - stúpajúce pH zvyšuje ionizáciu. Vyššia ionizácia spôsobuje rozpad vodíkových väzieb a elektrostatické odpudzovanie medzi polymérnymi reťazcami. Tým sa zväčšuje štruktúra polyméru a množstvo vody, ktoré je schopné naviazať. Osmotický tlak sa znížuje so zvyšujúcou sa absorpciou vody, ktorá spôsobuje zvýšený tāh medzi polymérnymi sieťami. Ďalším zvyšovaním pH dôjde k štrukturálnemu rozpadu polymérnych sietí a tým zníženiu absorpcie vody (Yang a kol., 2024).

Rattan a kol., (2022) skúmali dva rôzne druhy SAP (Com-SAP a FA-SAP) a tri rôzne hnojivá (organické, močovina a fosforečnan amónny). Z nich sa následne vytvorili rôzne

koncentrácie roztokov hnojív (5 g/l, 10 g/l, 25 g/l, 50 g/l a 100 g/l) a pridali do 500 ml destilovanej vody. Metóda sa vykonávala pri laboratórnych podmienkach. SAP sa aplikoval do nylónového čajového vrecka a ponoril do roztoku hnojív s rôznymi koncentráciami. Zníženie nasiakavosti SAP sa prejavil po aplikácii oboch druhov hnojív. Pokles nasiakavosti bol úmerný koncentrácií hnojív. Poradie aplikácie SAPu alebo hnojív nezohrávalo významnú úlohu pri rovnovážnej hodnote nasiakavosti. Významný pokles nasiakavosti SAP (Com-SAP a FA-SAP) sa zaznamenal pri aplikácii fosforečnanu amónneho s koncentráciou hnojiva 5 g/l. Pri ďalších zvyšujúcich sa koncentráciách hnojiva fosforečnanu amónneho testované polyméry nevykazovali pokles nasiakavosti (p-hodnota >0,05). Pokles nasiakavosti pri aplikácii fosforečnanu amónneho sa pripisuje rozdielom osmotických tlakov medzi sietou SAP a roztokmi fosforečnanu amónneho.

Hnojivá organického pôvodu obsahujú iónové a neiónové prímesi, ktoré pravdepodobne interagujú so SAP čo má v dôsledku negatívny účinok na samotnú nasiakavosť ako má močovina (Rattan a kol., 2022).

4.1.5 Využitie SAP v polnohospodárstve

Pre polnohospodárske účely boli polyméry vyvinuté primárne na zlepšenie fyzikálnych vlastností pôdy:

- (a) zlepšenie vodozádržnej kapacity pôdy,
- (b) efektívne a účinné využívanie vody,
- (c) zvýšená miera infiltrácie,
- (d) zníženie frekvencie zavlažovania,
- (e) zamedziť zhutneniu pôdy,
- (f) zastavenie erózie a odtoku vody,
- (g) zvýšenie úrodnosti rastlín (oblasti vystavené suchu) (Chang a kol., 2021).

Poľnohospodársky SAP musí mať vysokú mieru absorpcie vody, nízky obsah degradovaných zvyškov, netoxicost' a vysokú stabilitu v prostredí. Je zrejmé, že nie je možné aby SAP splňal všetky uvedené požiadavky ale je potrebné aby spĺňal aspoň časť z nich (Zohuriaan, 2008):

- Vysoká absorpčná kapacita (maximálna nasiakavosť v rovnovážnom stave)
- Požadovaná rýchlosť absorpcie preferovaná veľkosť častic a pórovitosť
- Nízky obsah rozpustných látok a zvyškového monoméru
- Vysoká biologická odbúrateľnosť bez tvorby toxicických látok po degradácii
- Vysoká stabilita v prostredí aplikácie a počas skladovania (mechanická stabilita)

- pH-neutralne po napučaní vo vode
- Bezfarebnosť, bez zápachu a absolútnej netoxickosti
- Fotostabilita (odolné voči slnečnému, viditeľnému, UV svetlu)
- Nízka cena.

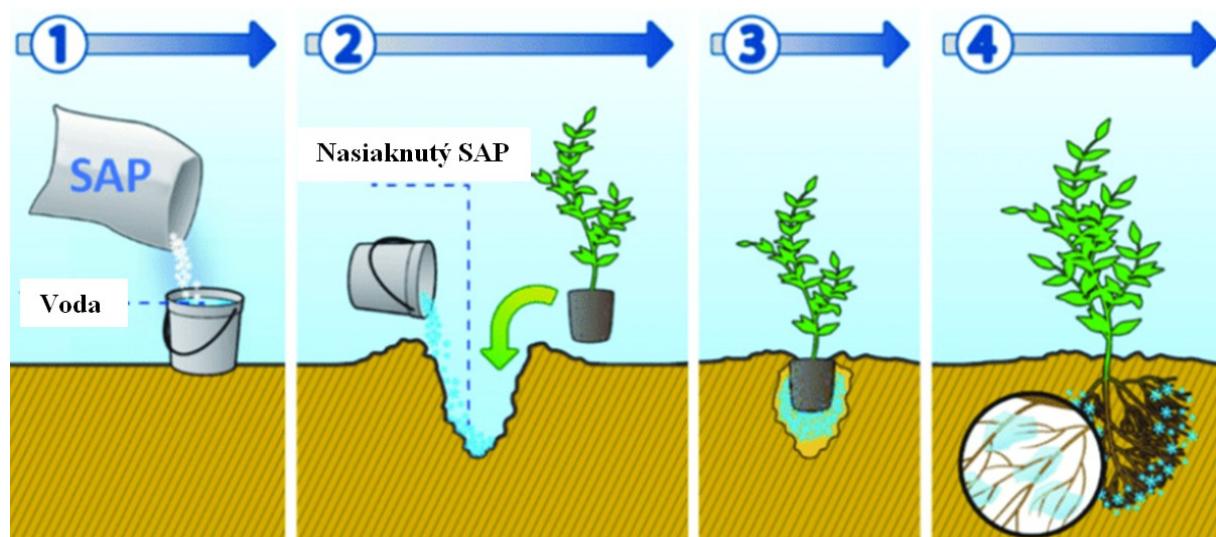
SAP sa aktuálne využívajú a testujú v oblasti poľnohospodárstva a záhradníctva a to aplikovaním do pôdy. V pôde zohrávajú dôležitú úlohu vo vytváraní priaznivých klimatických podmienok a zlepšení fyzikálnych vlastností pôdy (Obr. 15).

Polymér môže v poľnohospodárstve plniť viaceré funkcie ako napr. (Ekebafe a kol., 2011)

- zásobárenie vody
- nosič živín (podpora klíčenia)
- obal na osivo alebo koreňových dipov
- regulátor riadeného uvoľňovania látok
- regulátor rastu rastlín.

Aktuálne sa v poľnohospodárstve využívajú 3 hlavé typy polymérov:

- 1) škrobové štepené kopolyméry získané štepením polyakrylonitrilu na škrob s následnou zmydelnením akrylonitrilových jednotiek
- 2) zosietované polyakryláty
- 3) zosietované polyakrylamidy a zosietované akrylamid-akrylátové kopolyméry obsahujúce väčší podiel akrylamidových jednotiek. Pre svoju schopnosť odolnosti a dlhej výdrže sú najviac využívané v poľnohospodárskom sektore (Ekebafe et al., 2011)



Obr. 15 Využitie SAP v oblasti poľnohospodárstva a záhradníctva. Upravené podľa: (Braun et al., 2021)

4.1.5.1 Obalovanie semien (priama technológia)

Priame obalovanie semien je jednou z možností využitia SAP. Semená fazule mungo sa priamo obalili rôznymi druhami SAP: polyakrylamidom (PA), polyakrylátom sodným (SPA) a SAPom na báze kokosového vlákna. Koncentrácia SAPu bola stanovená rôzne: PA (2 g/kg semien), SPA (7 g/kg semien), SAP kokosové vlákno (8 g/kg semien) spolu s MnSO₄ 100 ppm. Ako kontrola slúžili neobalené semená. Pokus sa vykonával na náhodných poľných blokoch, celkovo so štyrmi opakovami.

Pri výhodnocovaní bola pozorovaná najvyššia klíčivosť pri aplikovaní SAPu na báze kokosovej drviny 8 g/kg semien s 87% účinnosťou. Polyméry na báze (PA) a (SPA) významne zvýšili klíčivosť semien ale nepresiahli úroveň klíčivosti SAPu na báze kokosovej drviny. Kokosové vlákno ako zložka SAP najefektívnejšie absorboval okolitú pôdnú vodu a zadržiaval absorbovanú vodu na povrchu semien. Neobalené semená (kontrola) boli najmenej významné a dosiahli najnižšiu klíčivosť. V experimente sa zaznamenala aj maximálna výška rastlín a to pri aplikácii SAP na báze kokosového vlákna. Výška rastlín je genetická vlastnosť, ktorá sa môže pripísat okolitým podmienkam a nemusí byť umelo ovplyvnená (Suganya a kol., 2020).

Alves a Teixeira (2012) skúmali vplyv rôznych koncentrácií hydrofilného gélu na klíčivosť semien tingui a uhorky a zistili, že stredná dávka gélu zvýšila percento klíčivosti, zatiaľ čo vyššia dávka ho znížila. Tí istí autori konštatovali, že gél môže absorbovať časť vody určenej pre embryo. preto je potrebné upraviť dávku SAP, aby sa zabezpečila vysoká účinnosť klíčenia semien.

Porovnanie spôsobu aplikácie SAP prostredníctvom obalovania osiva s aplikáciou do výsadbovej ryhy a kontrolou, ako sa hodnotilo v experimente 2 ukázalo, že druhý spôsob aplikácie viedol k zvýšeniu výšky rastlín, sušiny listov a sušiny výhonkov, pričom prvý spôsob aplikácie tieto premenné v porovnaní s kontrolným ošetrením znížil. Na zlepšenie procesu klíčenia môže byť prospešné vyvinúť polymér špecifický pre osivo, a to vzhľadom na to, že interakcia SAP so semenom by mohli mať vplyv na rozdiely v granulometrii polyméru, ako aj v spôsobe jeho aplikácie (napr. spojivo alebo vrstva) (Barros a kol., 2017).

4.1.5.2 Aplikácia SAP do pôdy

Autori Yu a kol. (2017) sledovali absorpciu a následné zadržiavanie vody počas 10 hodín sušenia piatich pôd líšiacimi sa textúrou a prítomnosťou štyroch rôznych SAP (zmesami pôdy a SAP) s rôznom koncentráciou. Absorpčia vody samotnými pôdami sa

zvyšovala so zvyšujúcim sa obsahom ílu. Absorpcia vody SAP-mi klesala s ich zvyšujúcim sa množstvom, ale počas 10 h sušenia malo množstvo vody zadržanej SAP-mi tendenciou stúpať s ich zvyšujúcim sa množstvom. Absorpcia vody zmesami pôdy a SAP sa zvyšovala so zvyšovaním koncentrácie SAP bez ohľadu na štruktúru pôdy. SAP zmiešané s pôdou výrazne zlepšili schopnosť zadržiavať vodu, najmä v pôdach s nízkymi percentami ílu. Okrem toho SAP v zmesiach pôdy nadále absorboval vodu z pôdy počas prvých 5 hodín sušenia.

Najmenšie straty vody vykazoval SAP s veľkorozmernými guľôčkami (BJ-2101M). (Yu a kol., 2017).

Podobné zistenia z pohľadu zloženia pôdy bolo zistené autormi Malik a kol. (2022), ktorí na základe týchto zistení odporúčajú nasledovné dávkovanie SAP:

- ílovitý typ pôdy (2,5 kg/ha) aplikovanie do hĺbky 6 až 8 cm
- piesočnatý typ pôdy (5,0 kg/ha) aplikovanie do hĺbky 4 cm (Malik a kol., 2022).

V odbornej štúdií Albalasmeh a kol. (2022) použili komerčný polyakrylát draselň, ktorý sa aplikovali do dvoch rôznych typov pôd (piesočnej a ílovito-hlinitej). Zmeny rastových parametrov sa sledovali na plodine kukurice siatej. Pre odlišné fyzikálne a hydraulické vlastnosti pôd ako je dostupnosť vzduchu, vody a živín sa pôda s hydrogérom miešala v množstve (0 až 1% použité len pri piesočnatom type pôdy).

Pri oboch pôdach mala výška rastlín rastúci trend pri zvyšovaní koncentrácie hydrogélu. Pri ílovito-hlinitej pôde bola najväčšia výška kukurice 155,2 cm pri množstve hydrogélu 0,5 % ($m_{SAP}/m_{pôda}$). Oproti kontrole to predstavovalo 26,3-percentný nárast. Kukurica pestovaná v piesočnej pôde mala najvyššiu výšku 93,37 cm pri 1 % množstve hydrogélu. V porovnaní s kontrolou 44,30 cm to predstavovalo viac ako dvojnásobný nárast kukurice. Takisto sa pri oboch typoch pôd zvyšovala živá a suchá hmotnosť a priemer stonky. Potvrdilo sa, že aplikáciou SAP do piesočnej a ílovito-hlinitej pôdy zvýšilo rast kukurice (Albalasmeh a kol., 2022).

4.1.6 Vplyv SAP na pôdne vlastnosti

Konkrétny typ SAP zlepšuje rýchlosť prenikania vody, štruktúru a textúru pôdy - zadržiavanie vody, infiltráciu a prevzdušnenie pôdy, veľkosť a počet agregátov, napätie vody, dostupnú vodu, krehkosť pôdy a uľahčujú postupy hospodárenia s vodou v pôde. Schopnosti ako uvoľňovanie živín a nitrifikácia pôdy, zvýšenie absorpcie živín, osmotická vlhkosť pôdy a zníženie stresu pri presádzaní spôsobujú zlepšenie rastovej reakcie rastlín, zvýšenie úrody a zníženie rastových a produkčných nákladov rastlín. Tým, že SAP absorbuje

sto až päťstotásobok svojej pôvodnej hmotnosti sa môže použiť ako samotné kultivačné médium alebo ako samostatne zakoreňovacie médium. Okrem toho znižuje nárazový tlak v trávnikoch, používanie pesticídov (herbicídov a fungicídov), absorbuje rozpustné hnojivá a včas ich uvoľňuje. Okrem toho zlepšuje drenáž, keď je použitý ako pôdna úprava. V niektorých prípadoch môže nadmerné používanie hydrogélu spôsobiť opačný efekt, z dôvodu znižovania vzdušnosti pôdy, po ktorej nasleduje vyplnenie voľných priestorov a napučanie gélu.

Aplikáciou SAP do pôdy môže dôjsť k ovplyvneniu jej chemických vlastností, ako je pH, elektrická vodivosť (EV), katiónová výmenná kapacita (KVK) a retencia živín. Práve zmeny uvedených vlastností pôdy môžu výrazne ovplyvniť rast plodín. Štúdie skúmali zmeny chemických vlastností pôdy, pričom ich výskum bol zameraný na retenciu živín. Zistili, že polymér vyvolal reakcie rôzneho typu, ktoré zmenili chemické vlastnosti pôdy. Práce zaoberajúce sa zadržiavaním živín zaznamenali pozitívnu reakciu na aplikáciu SAP. V piesočnato-hlinitej pôde s aplikáciou 0,5 % práškového SAP, ktorá počas dvojtýždňového obdobia prešla dvoma intervalmi zavlažovania sa pH po ošetrení SAP znížilo zo 6,04 na 5,7-5,8. Pokles pH sa spájal a bol pravdepodobne ovplyvnený karboxylátovým iónom prítomným v SAP. Zmena pH mohla byť spôsobená aj práškovou formou v ktorej bol SAP aplikovaný do pôdy. Väčší povrch mohol znásobiť úchinok pH. Primárny rozdiel pH pôdy sa pripisuje chemickému zloženiu SAP (Dehkordi, 2016; Ostrand a kol., 2020; Zohuriaan, 2008). Ďalšia práca skúmajúca SAP a jeho vlastnosti zaznamenala rovnako zníženie pH zo 4,8 na 4,5. Zdôvodnenie poklesu pH bolo spôsobené prítomnosťou karboxylátových iónov v SAP, ktoré okysľujú pôdu a následne znížujú pH (Ostrand et al., 2020).

Zmena elektrickej vodivosti (EV) sa vyskytla v dvoch štúdiách. Skúmali zmenu EV v piesočnato-hlinitej pôde. V počiatočnom meraní mala vzorka pôdy EC $1,5 \text{ dS m}^{-1}$. Po 13 týždňovom kontrolnom meraní sa EV zvýšila na $2,95 \text{ dS m}^{-1}$. Po aplikácii 0,5 % SAP sa EV zvýšila na $5,3 \text{ dS m}^{-1}$. Elektrická vodivosť a jeho zmena bola pravdepodobne spôsobená kyselinami a iónmi prítomnými v SAP. V ďalšej štúdií sa skúmali 2 typy polymérov pri meniacich sa vodných stavoch. V počiatočných fázach aplikácie sa EV zvýšila ale po 12 a 21 dňoch výrazne klesla a to o 51,7 - 65,5 % resp. 42,5 - 51,3 %. Obe štúdie sa zaoberali zmenou EV po aplikácii SAP. Priebežné merania preukázali rôzne reakcie, čo mohlo byť spôsobené zložením SAP (Zohuriaan, 2008).

Aplikáciou SAP do pôdy sa môže výrazne zmeniť množstvo mikrobiálnej diverzity. Počas suchej aplikácie SAP 200 kg/ha^{-1} $0,009 \% (\text{m}_{\text{SAP}}/\text{m}_{\text{pôda}})$ pri klíčení pšenice sa početnosť baktérií výrazne zvýšila. Pri experimentálnom aplikovaní SAP $0,5 \% (\text{m}_{\text{SAP}}/\text{m}_{\text{pôda}})$ do pôdy sa

početnosť baktérií zvýšila z 16 % na 18% v porovnaní s pôdou bez aplikovaného SAP (Ostrand a kol., 2020).

Počet húb, baktérií a aktinomycét sa v pôde ošetrenej SAPom výrazne zvýšil i po kontrolnom meraní. Vďaka zlepšeniu biologických vlastností pôdy, dostatočnej vlhkosti a rozkladu pôvodných organických materiálov bol možný ideálny nárast mikroorganizmov. SAP na báze akrylamidu dokáže výrazne zvýšiť počet húb, baktérií a aktinomycét v pôde (Parvathy a kol., 2014).

Yang a kol. (2022) realizovali aplikáciu SAP do poľnohospodárskej pôdy od roku 2011 po 2019. Počas 9 rokov aplikácie zistili, že SAP môže zlepšiť štruktúru pôdy, jej fyzikálne vlastnosti a vlastnosti pôdných pórov. Počas pôsobenia SAP zvyšoval početnosť pôdných agregátov $> 0,25$ mm a znižoval počet $< 0,25$ mm už za 1 rok aplikácie. Od roku 2011 po rok 2019 sa podiel pôdných agregátov s hrúbkou $> 2,0$, $1,0-2,0$ a $0,5-1,0$ mm výrazne zvýšil. Znižovanie početnosti pôdných agregátov s hrúbkou $< 0,25$ mm mohlo byť spôsobené silnou priľnavosťou SAPu na pôdne častice, čím je znemožnené ich ďalšiemu rozptylu. Znižovaním počtu agregátov s hrúbkou $< 0,25$ mm uľahčuje mikrobiálny rast, pretože medzi aktivitou pôdných enzymov a agregátmi s hrúbkou $> 1,0$ vzniká pozitívna korelácia (Yang a kol., 2022).

SAP majú potenciálne využitie aj ako nosič a regulátor uvoľňovania živín (hnojív) v poľnohospodárstve a záhradníctve. Aplikáciou SAP ako hnojiva je možné znížiť výrobné náklady na hnojivá, docieliť efektívnejšiu aplikáciu a takisto zmierniť environmentálne problémy spojené s nekontrolovanateľným uvoľňovaním pesticídov, herbicídov a živín do životného prostredia (Zheng a kol., 2023).

Polyméry využívané na poľnohospodárske účely dokážu zadržať a uchovať hnojivá až na päť rokov. Hnojivo sa aplikuje do SAP v ktorom sa rozpustí pomocou už absorbovanej vody (Ali a kol., 2023).

Napučaný SAP má obštrukčný účinok na difúziu obaleného hnojiva. Zlepšuje sa tak rýchlosť využitia hnojiva a živiny môžu pomaly difundovať z hydrogélu cez sietový systém do prostredia pôdy (Xi, 2021).

Účinnosť uvoľňovania močoviny uloženej v SAP sa zvyšuje a synchronizuje podľa živín potrebných v rastlinách. SAP zložený z kompozitu celulózy zabezpečuje jej viazanie na hnojivo, čím sa vie nastaviť hrúbka povlaku, vďaka čomu sa reguluje uvoľňovanie hnojiva. Bol vyvinutý SAP s dvojitým povlakom, ktorého základný materiál je močovina, vnútorný povlak je zložený z etylcelulózy a vonkajší povlak z (celulóza-SAP). Celulózový dvojvrstvový SAP v praxi vykazoval zvýšenú zadržiavaciu kapacitu vody a odolnosť voči

nitrifikácií (Dingley a kol., 2024). Kombináciou SAP a hnojív vieme zvýšiť príjem živín koreňov plodín, znížiť straty hnojív vplyvom erózie alebo odparovania a využiť maximálnu výnosnosť plodín aj v oblastiach postihnutých nedostatkom vody (Jamal a kol., 2022).

4.1.7 Vplyv používania superabsorpčného polyméru na životné prostredie

Medzi časté riziká pri aplikácii SAP v praxi patrí jeho bezpečnosť, toxicita a osud v ŽP. SAP majú irreverzibilnú vlastnosť čo znamená, že sa po ich použití nemôžu vrátiť do pôvodného stavu. Polčas rozpadu SAP aplikovaného do pôdy je najčastejšie 5 – 7 rokov. Životnosť SAP závisí primárne od pH pôdy. Produkty, ktoré najčastejšie vznikajú pri degradácii sú voda, CO₂, amoniak, Na a ďalšie zložky. Vznik produktov pri rozklade závisí hlavne od zloženia SAP. Čažká rozložiteľnosť SAP môže predstavovať zvýšené riziko a potenciálne kontamináciu podzemných vód. Ich mobilita je primárne ovplyvnená štruktúrou pôdy a množstvom organickej hmoty. Ílovité pôdy s vyšším obsahom organických hmôt môžu značne obmedziť mobilitu SAP (Ostrand a kol., 2020).

Štúdie skúmajúce SAP na báze akrylátov preukázali, že sú vo všeobecnosti biologicky kompatibilné ale v dôsledku ich vysoko stabilnej uhlíkovej kostry, nízkej rozpustnosti vo vode a extrémne vysokej molekulovej hmotnosti vplyvom zosietovania nie sú rozložiteľné a degradovateľné mikroorganizmami (Chen a kol., 2022).

Komerčne dostupné SAP sú prevažne produkty zložené z biologicky nerozložiteľných materiálov ako je akrylát a akrylamid. SAP zložený z polyakrylamidu je vo všeobecnosti netoxickej ale jeho degradáciou môžu vzniknúť akrylamidové zvyšky, ktoré sa považujú za nebezpečné pre človeka a podzemné vodné zdroje. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie sa zaraďujú akrylamidové zvyšky medzi karcinogénne zlúčeniny (2. úroveň).

Akrylamidy sú schopné rýchlej degradácie vo vlhkom pôdnom prostredí a ich konečnými rozkladovými produktmi sú kyselina akrylová a amoniak. Rýchlosť degradácie akrylamidu môže byť ovplyvnená aj mikrobiálnou aktivitou.

Skúmal sa model mikrobiálnej degradácie akrylamidu v pôdnom stĺpci s tromi rôznymi typmi pôd. Výsledky ukázali, že akrylamid sa rýchlo degradoval a rozpad akrylamidu bol kratší ako 3 hodiny. Biologická odbúrateľnosť SAP na báze akrylátu v rôznych typoch pôd pri rôznych teplotách bola študovaná v predchádzajúcej literatúre pomocou izotopov uhlíka. Zistilo sa, že polyakrylátový reťazec sa v pôde degradoval veľmi pomalou rýchlosťou 0,12–0,24 % za 6 mesiacov a rýchlosť degradácie sa významne nelíšila so zvýšením teploty (Saha a kol., 2020).

Polyakrylátové SAP môžu do budúcnosti predstavovať dlhodobé environmentálne problémy a aktuálnym zavádzaním prísnych celosvetových opatrení, ktoré zamedzujú vyrábať nerozložiteľné výrobky môže obmedziť ich ďalšie používanie (Chen et al., 2022).

Preto je nevyhnutné pokračovať s vývojom biologicky degradovateľných SAP, ktoré môžu predstavovať riešením environmentálnych negatív bežne využívaných SAP. V rámci praktickej časti práce sa budeme venovať jednému z typov biologicky degradovateľných SAP na báze škrobu.

5 Ciele

Ciele teoretickej časti diplomovej práce:

- vypracovanie súčastného stavu poznatkov o problematike tradičných agrotechnických postupov.
- prehľad tradičných a moderných postupov používaných na zadržiavanie vody v pôde so zameraním na problematiku SAP.

Experimentálna časť pozostávala z časťí:

- Monitoring chemických a fyzikálnych parametrov z následným odberom pôd v rámci výskumného pracoviska Borovce.
- Charakterizácia retenčných vlastností SAP
- Modelové experimenty zahŕňajúce sledovanie vplyvu vodozádržnej kapacity v modelových pôdach s aplikovaným SAP.
- Uskutočnenie modelových laboratórnych experimentov so vzorkami pôd, za účelom sledovania vplyvu použitia nového typu SAP so zvýšeným obsahom biodegradovateľnej škrobovej zložky na zadržiavanie vody v pôde. Získané výsledky budú podrobene vzájomnému porovnaniuu diskusii.

6 Materiál a metódy

6.1 Prístroje a zariadenia

- **Váhy OHAUS Defender 5000** – max. 100kg
- **Fotometer PF-12Plus** - 345 nm / 436 nm / 470 nm / 540 nm / 585 nm / 620 nm / 690 nm
- **Systém COMBI 5000** - multiparametrický prístroj pre meranie pH (0-14), konduktivitu (mS/cm), teploty (°C) a obsahu vody v pôde.
- **Pôdny vzorkovač (Puerckhauer - Nemecko)** – celková dĺžka a šírka (81x2cm), odberová dĺžka (60x1,3cm), odberová šírka 20 mm,
- **Sušička Tuttnauer VENTI Line (Germany)** – S/N: 15-01047
- **Analytické váhy KERN, ALT I60-4NM** – max. 160 g, presnosť merania $\pm 0,0001$ g
- **Predvážky VWR** – max. 200 g, presnosť merania $\pm 0,1$ g
- **Magnetická miešačka MM 2A**
- **Zariadenie PURELAB® 4 Flex na prípravu deionizovanej vody** - vodivosť $0,054 \mu\text{S}/\text{cm}$
- **Zariadenie DIWA 5rica WATEK** – príprava destilovanej vody

Pomôcky na odber pôdných vzoriek, mikroténové uzatvárateľné vrecká, sklenené a plastové nádoby

6.2 Materiál

6.2.1 Hnojivá

Komerčne dostupné hnojivá poskytnuté od pracovníkov VURV Piešťany:

Liadok amónny s dolomitom (LAD 27 % N – obsahuje 27 % N)

Superfosfát (SF – obsahuje 8,17 % čistého P)

Síranu draselného (SD – obsahuje 41,5 % čistého K)

6.2.2 Superabsorpčné polyméry

STARCH (Aqua vantage AV200): Superabsorpčný polymér (SAP) typu STARCH zložený zmesou 60 % (hmot.) na báze škrobu a 40 % (hmot.) zmesi kyseliny akrylovej a akrylamidu (v pomere 10:1). Prášok bielej farby a jemnej štruktúry s veľkosťou zín 200 mesh.

AGRO (Aquaholder agro) - Superabsorpčný polymér (SAP) typu AGRO zložený zmesou kyseliny akrylovej a akrylamidu (v hmotnostnom pomere 10:1). Granulové usporiadanie bielej farby v hrubozrnnej zmesi.

SEED (Aquaholder seed) - Superabsorpčný polymér (SAP) typu SEED zložený zmesou kyseliny akrylovej a akrylamidu (v hmotnostnom pomere 10:1). V práškovej úprave.

Dodanie SAP-ov na experimentálne účely zabezpečila spoločnosť PEWAS, s.r.o. sídliaca v Bratislave.

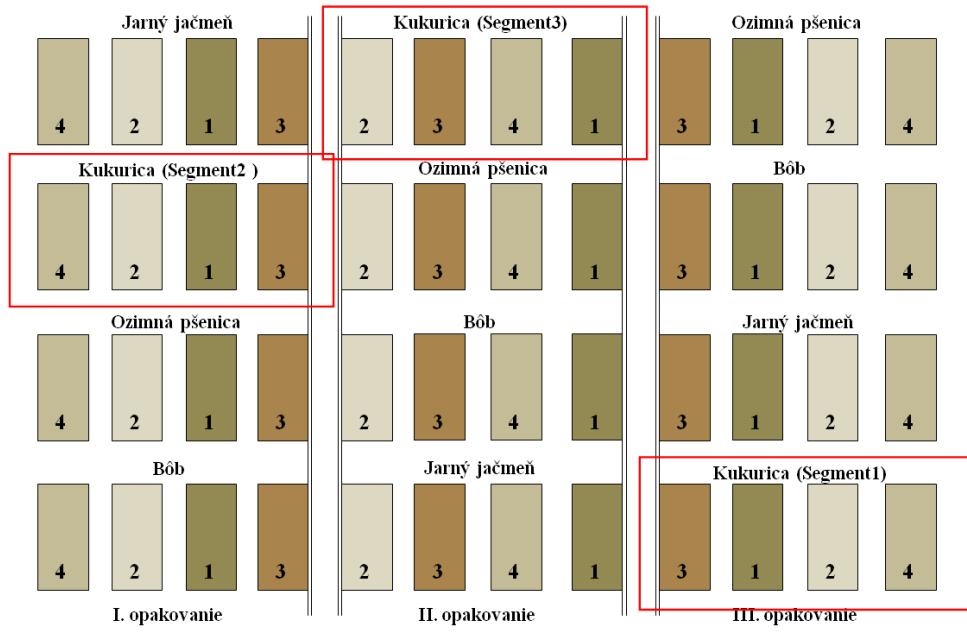
6.2.2.1 SEM-EDX analýza

Pre účely charakterizácie študovaných vzoriek superabsorpčných polymérov pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie spolu s energo-disperznou spektrometriou (SEM-EDX) sa daná vzorka superabsorpčného polyméru najprv zafixovala na hliníkovú podložku prostredníctvom adhezíva na báze striebra, a následne sa u nej uskutočnilo pokovovanie pomocou Au a evaporátora BP 343,7 (TESLA ELMI a.s., ČR). Samotná SEM-EDX analýza sa zrealizovala pomocou mikroskopu VEGA 2 SEM (TESCAN s.r.o., ČR) vybaveného mikrosondu EDX QUANTAX QX2 (RONTEC, DE). Mikroskopické snímky sa získali pri 100x, 300x, 500x a 1 000x zväčšení, tlaku $3,6 \times 10^{-3}$ Pa a pri napäti 30 kV.

6.3 Monitorovacia a odberová lokalita

Vzorky poľnohospodárskej pôdy sa odobrali vo februári 2024 z lokality experimentálnych políčok Výskumného pracoviska (VÚRV Piešťany) sídlaceho v Borovciach (nadmorská výška 160 metrov, severná zemepisná šírka $48^{\circ}34'$, východná zemepisná šírka $17^{\circ}44'$).

Na lokalite výskumného pracoviska Borovce (CVRV – VÚRV Piešťany) sa dlhodobo realizujú poľné pokusy so štyrmi základnými technikami obrábania pôdy (konvenčný, minimalizačný, mulčovací a bez mechanického obracania) s pestovaním vybraných modelových plodín. V rámci celého poľného pracoviska sa nachádza celkovo 12 poľných segmentov, z ktorých každý je tvorený štvormi samostatnými poľnými pod jednotkami, ktorých usporiadanie je na (Error: Reference source not found).

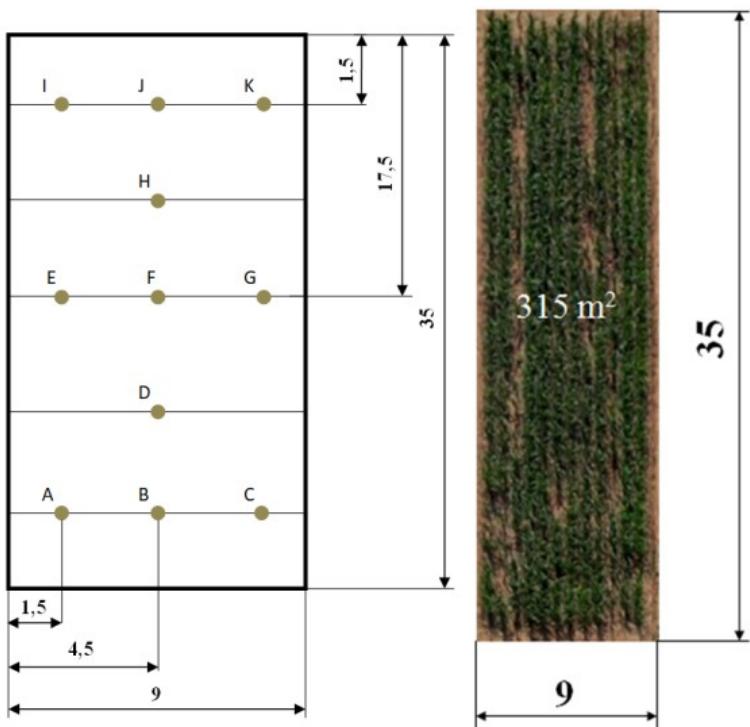


Obr. 16 Rozloženie experimentálnych políčok na lokalite Výskumného pracoviska v Borovciach.

Na lokalite výskumného pracoviska Borovce (CVRV – VÚRV Piešťany) sa dlhodobo realizujú poľné pokusy so štyrmi základnými technikami obrábania pôdy (konvenčný, minimalizačný, mulčovací a bez mechanického obracania) s pestovaním vybraných modelových plodín. V rámci celého poľného pracoviska sa nachádza celkovo 12 poľných segmentov, z ktorých každý je tvorený štvormi samostatnými poľnými pod jednotkami, ktorých usporiadanie je na (Error: Reference source not found).

V našej práci sme sa zamerali na 3 poľné segmenty (Obr. 16) na ktorých sa v roku 2024 realizuje pestovanie kukurice siatej. V rámci každého testovacieho políčka boli zvolené nasledovné monitorovacie resp. odberové body pre (Obr. 17):

- *In-situ* povrchové meranie pôdnej salinity a vlhkosti pôdy,
- Odber vzoriek pôdy pre laboratórne stanovenie pH a vodivosti v pôdnom roztoku,
- Odber vzoriek pôdy z rôznych hĺbok pre laboratórne stanovenie vlhkosti pôdy,
- Odber pôdy pre chemický rozbor a modelové kolónové experimenty.



Obr. 17 Znázornenie odberových miest na políčku každej agrotechnológie. Zdroj: mapy.cz

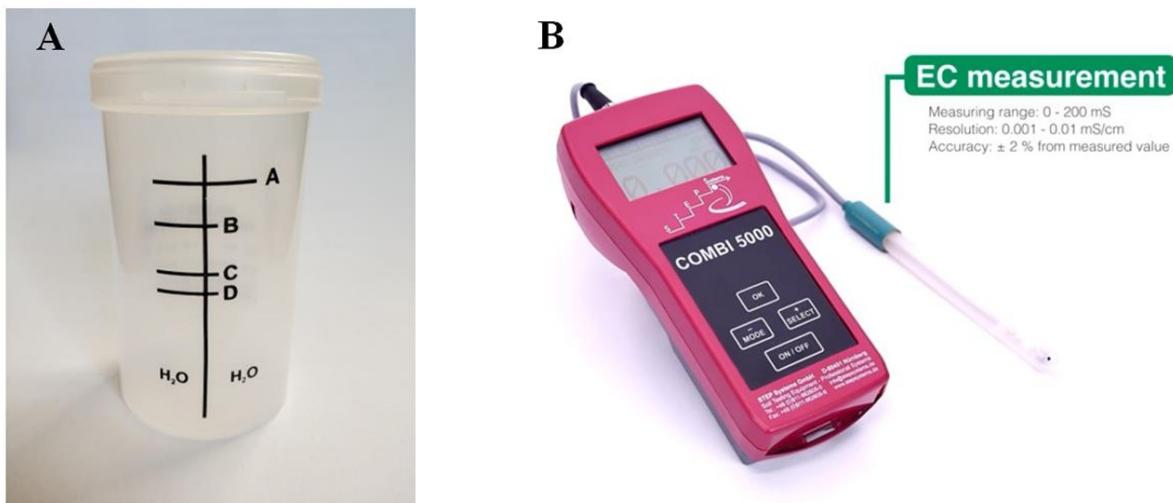
6.4 Meranie fyzikálno-chemických parametrov pôdy

6.4.1 Stanovenie salinity a vlhkosti pôdy

In-situ meranie sa realizovalo s kalibrovaným multiparametrickým prístrojom COMBI 5000 (Obr. 18) na vybraných monitorovacích bodoch A,C,E,F,G,I,K (Obr. 17). Sledované boli nasledovné pôdne parametre:

- Salinita - určená koncentráciou celkových rozpustených solí priamo v pôde, pričom sa berú do úvahy príslušné vlastnosti ako je vlhkosť pôdy, teplota a z hutnenie pôdy. Tieto faktory určujú množstvo solí, ktoré sú „aktívne“ a dostupné pre rastliny.
- Vlhkosť pôdy - princíp merania je založený na meracej technológií FDR a nie je ovplyvnený pH a obsahom solí v pôde a substrátoch. Údaje o obsahu vody sú vyjadrené v % obj.

In-situ meranie prebiehalo s použitím multiparametrickej sondy, ktorá bola kolmo zavedená do vopred vytvoreného otvoru v pôde (dodávaným pôdnym dierovačom) s hĺbkou min. 70 mm. Odčítanie údajov sa realizovalo po ustálení zobrazovaných hodnôt.



Obr. 18 Multiparametrický prístroj COMBI 5000 (B) s odmernou nádobou na prípravu pôdneho roztoku (A).

6.4.2 Stanovenie pH a vodivosti

Pre stanovenie pôdnych parametrov pH a vodivosti bol realizovaný odber vzoriek pomocou pôdneho vzorkovača na vybraných odberových miestach (A,C,F,I,K) v rámci monitorovaných políčok (Obr. 17). Pôdne vzorky boli zozbierané do plastových mikroténových vrecúšok a následne transportované do laboratória. Zo vzoriek pôd bol pripravený pôdný roztok, na ktorý bola použitá výrobcom multiparametrického prístroja (COMBI 5000) dodávaná odmerná nádoba (Obr. 18 A). Pomocou tej sa pripravil pôdný roztok v objemovom pomere (pomer voda : pôda 5:1). Voda s pôdou sa krúživým pohybom premiešajú a následne sa nechajú stáť po dobu 2 minút, aby došlo k dostatočnému rozpusteniu prítomných zložiek. Meranie pH a vodivosti prebieha ponorením príslušných sond do tohto roztoku a hodnota sa odčíta od ustálenia hodnôt.

6.4.3 Laboratórne stanovenie vlhkosti pôdy

Odber vzoriek pre laboratórne stanovenie obsahu vody v pôde bol realizovaný s použitím hĺbkového pôdneho vzorkovača (Puerckhauer - Nemecko) () .

Vzorky pôd boli odobrané v rámci každého políčka na dvoch vopred určených odberových miestach (D a H) (Obr. 17). Vzorky pôdy sa odobrali po vrstvách vo vertikálnom smere: 1. vrstva 0 – 10 cm; 2. vrstva 10 – 20 cm; 3. vrstva 20 – 30 cm a 4. vrstva 30 – 40 cm do uzatvárateľných plastových skúmaviek.

Odobrané vzorky pôd sa v laboratóriu opäťovne prevážili a otvorené boli vložené do sušiarne. Tu prebiehalo sušenie pri teplote 45°C po dobu 3 dní do konštantnej hmotnosti. Po vysušení sa vzorky znova prevážili a obsah vody v pôde sa pre príslušnú vrstvu pôdy stanovil podľa vzorca (1):

$$\text{Obsah pôdnej vody (\%)} = \frac{\text{Hmotnosť odparenej vody}}{\text{Hmotnosť vlhkej pôdy}} * 100 \quad (1)$$



Obr. 19 Híbkový pôdný vzorkovač.

6.4.4 Odber a úprava pôdnych vzoriek pre laboratórne experimenty

Odber vzoriek sa realizoval za asistencia pracovníkov VÚRV Piešťany. Jednotlivé vzorky pôdy sa odobrali po vrstvách vo vertikálnom smere: 1. vrstva $0 - 10\text{ cm}$; 2. vrstva $10 - 20\text{ cm}$; 3. vrstva $20 - 30\text{ cm}$ a 4. vrstva $30 - 40\text{ cm}$ v množstve pre každú vrstvu 9 kg pôdy a pre celý segment sa odobralo cca 100 kg. Vzorky boli odobrané pomocou pôdneho vrtáku. Odber vzoriek sa realizoval na všetkých troch segmentoch. Pre krátky časový harmonogram sme na laboratórne experimenty spracovávali vzorky pôd iba zo segmentu 1 (Obr. 16). Vzorky sa odoberali do označených polyethylénových vriec. Tieto vzorky pôdy boli použité na laboratórne kolónové experimenty a na chemický rozbor pôd. Pôdne vzorky sa po transporte do laboratória umiestnili do sušiarne. Sušenie prebiehalo 1 týždeň pri teplote 45°C do konštantnej hmotnosti.

Vysušené vzorky sa ďalej spracovali rozdrvením veľkých agregátov na čo najmenšiu frakciu (**Obr. 20**). Týmto spôsobom sa spracovalo približne 4 kg vzorky pôdy pre každú jednu vrstvu pôdy a agrotechnickú metódu. Upravené vzorky pôd sa sitovali cez sito (veľkosť otvorov sita 2 mm) do zásobných nádob. Tieto vzorky pôdy boli použité na laboratórne kolónové experimenty a na chemický rozbor.



Obr. 20 Nástroj na drvenie veľkých pôdnych agregátov.

6.4.5 Chemická analýza vzoriek pôd

Zastúpenie prvkov Ca, K, Fe, K₂O, Mg, Mn, P, P₂O₅, S_{celk.}, Co, Zn, Cu a TOC (celk. organický uhlík) sa uskutočnilo v akreditovaných Geoanalytických laboratóriach Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Spišskej Novej Vsi, a to za využitia nasledovných analytických metód a prístupov: atómovej emisnej spektrometrie s indukčne viazanou plazmou (AES-ICP), hmotnostnej spektrometrie s indukčne viazanou plazmou (ICP-MS), vysokoteplotnej oxidácie (VTO) a elementárnej analýzy s tepelno vodivostným detektorm (EA).

6.4.6 Kolónové experimenty

Pre sledovanie vodozádržnej kapacity pôdy a do nej aplikovaných SAP resp. vplyvu faktorov pridaných živín vo forme zmesi NPK hnojia boli realizované viaceré typy kolónových experimentov.

6.4.6.1 Modelové kolónové experimenty s rôznymi pôdnymi vzorkami

Cieľom kolónových experimentov bolo preveriť možnosť aplikovania nového typu SAP STARCH do modelových vzoriek pôdy obhospodarovaných rôznymi agrotechnologickými prístupmi.



Obr. 21 Zhotovené stípcové kolóny s výškou 60 cm.

Za týmto účelom bolo zhotovených 16 stípcových kolón (Obr. 21). Každá kolóna bola vyrobená z polyvinylchloridových rúrok (PVC) s vnútorným priemerom 7,5 cm a výškou 60 cm. Spodný koniec kolón bol utesnený pomocou plastovej ochrannej sieťky a vrstvy gázy, ktorých cieľom je zamädzenie úniku pôdy pri záchytre pôdnego výluhu do zbernych nádob. Prázdna pôdna kolóna bola následne umiestnená na laboratórny stojan a celá aparátura bola odvážená. Takto pripravená kolóna bola plnená vopred odváženými frakciami pôdy (0 až 40 cm) odobranej z rôznych vrstiev na testovanom políčku obhospodarovaného odpovedajúcou agrotechnickou metódou (4 agrotechnické metódy). Pre každý agrotechnický prístup realizovaný v areáli výskumného pracoviska Borovce boli pripravené 4 rôzne kolónové experimenty v nasledovnom zostavení:

- Prvé zostavenie - kolóna plnená s čistými frakciami pôdy príslušnej agrotechnickej metódy (4 kolóny).
- Druhé zostavenie - kolóna plnená pôdou z príslušnej agrotechnickej metódy s prídavkom zmesi NPK hnojív (Tab. 1) zapracovaných do prvých 20 cm pôdy (4 kolóny).
- Tretie zostavenie - kolóna plnená pôdou z príslušnej agrotechnickej metódy s prídavkom SAP STARCH (Tab. 1) zapracovaného do prvých 20 cm pôdy (4 kolóny).

- Štvrté zostavenie - kolóna plnená pôdou z príslušnej agrotechnickej metódy s prídavkom SAP STARCH a NPK hnojív (Tab. 1) zapracovaného do prvých 20 cm pôdy (4 kolóny).

Presné dávkovanie kolón je uvedené v prehľadovej tabuľke a bolo zvolené na základe odporúčania vyskumných pracovníkov VÚRV podľa množstiev aplikovaných v reálnych podmienkach na príslušných testovacích políčkach.

Tab. 1 Vzorové dávkovanie zložiek (pôda, SAP, NPK hnojivo) do modelových pôdných kolón.

Pôdna kolóna	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm	30-40 cm
	Pôda [g]	NPK [g]	SAP [g]	Pôda [g]	NPK [g]	SAP [g]	Pôda [g]	Pôda [g]
Pôda	460	-	-	460	-	-	460	460
Pôda + SAP	460	-	0,5	460	-	0,5	460	460
Pôda + NPK	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	-	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	-	460	460
Pôda + SAP + NPK	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	0,5	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	0,5	460	460

Do každej pripravenej kolóny sa postupne pridalo 800 ml destilovanej vody a zachytával sa pôdny výluh. Výluhy získané zo vzoriek čistých pôd boli analyzované pre stanovenie obsahov prítomnosti nasledovných iónov: NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ a K^+ . Experiment prebiehal po dobu 18 dní počas, ktorých boli pôdne kolóny pravidelne vážené, za účelom stanovenia obsahu vody v pôde resp. vody zachytenej v SAP a výparu vody z pôdy.

6.4.6.2 Stanovenie obsahu dusičnanov v pôdnom výluhu

Stanovenie dusičnanov bolo realizované s použitím návodu a reagencií od spoločnosti Macherey-Nagel, ktoré sú súčasťou kolorimetrického kitu Visocolor ® ECO Nitrat (**Obr. 22**). Princíp stanovenia spočíva v redukcii dusičnanových iónov v kyslom prostredí na ióny dusitanov. V kombinácii s vhodným aromatickým amínom tvoria oranžovo-žlté azofarbivo. Prítomná zmena sfarbenia analyzovanej vzorky sa meria pomocou prístroja PF12 plus pri

vlnovej dĺžke 436 nm. Rozsah stanovenia týmto testom je na úrovni 4.0–60.0 mg/L NO_3^- , v prípade vyšších koncentrácií je potrebné vzorku vhodne riediť.

6.4.6.3 Stanovenie obsahu dusitanov v pôdnom výluhu

Stanovenie dusitanov bolo realizované s použitím návodu a reagencií od spoločnosti Macherey-Nagel, ktoré sú súčasťou kolorimetrického kitu Visocolor ® ECO Nitrit (**Obr. 22**). Princíp stanovenia spočíva v diazotácií sulfanilamidu v kyslom prostredí prostredníctvom dusitanov. Vznikutá diazóniová soľ sa spája s naftylamínom za vzniku červenofialového azofarbiva. Prítomná zmena sfarbenia analyzovanej vzorky sa meria pomocou prístroja PF12 plus pri vlnovej dĺžke 540 nm. Rozsah stanovenia týmto testom je na úrovni 0.02–0.50 mg/L NO_2^- , v prípade vyšších koncentrácií je potrebné vzorku vhodne riediť.

6.4.6.4 Stanovenie obsahu amóniových iónov v pôdnom výluhu

Stanovenie amínov bolo realizované s použitím návodu a reagencií od spoločnosti Macherey-Nagel, ktoré sú súčasťou kolorimetrického kitu Visocolor ® ECO Amonium 3 (**Obr. 22**). Princíp stanovenia spočíva v reakcii chlóru v alkalickom prostredí s amóniovými iónmi za vzniku monochloramínov. Tie v prítomnosti tymolu spôsobuje vznik modrého indofenolového farbiva. Prítomná zmena sfarbenia analyzovanej vzorky sa meria pomocou prístroja PF12 plus pri vlnovej dĺžke 600 nm. Rozsah stanovenia týmto testom je na úrovni 0.1–2.0 mg/L NH_3 , v prípade vyšších koncentrácií je potrebné vzorku vhodne riediť.

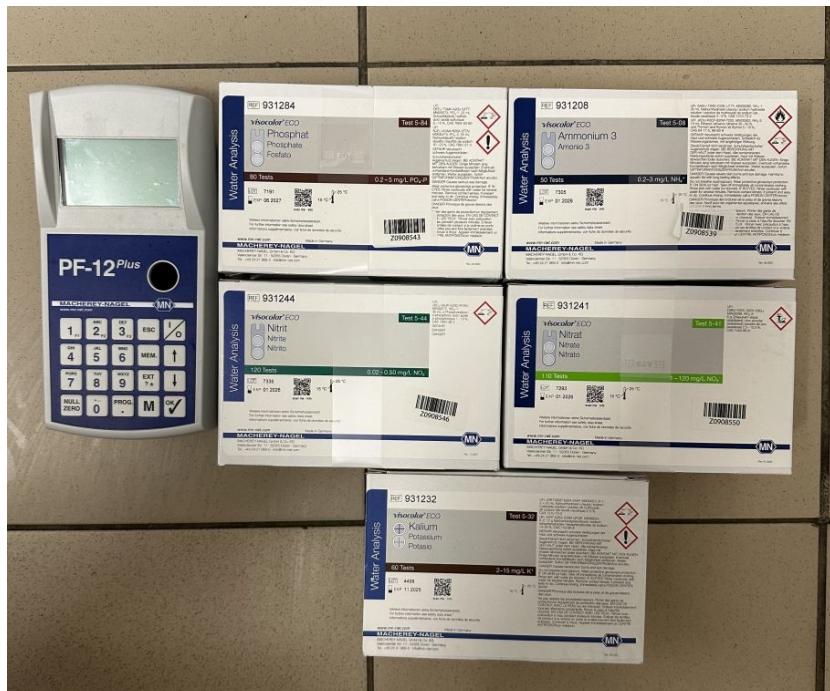
6.4.6.5 Stanovenie obsahu fosfátových iónov v pôdnom výluhu

Stanovenie fosfátov bolo realizované s použitím návodu a reagencií od spoločnosti Macherey-Nagel, ktoré sú súčasťou kolorimetrického kitu Visocolor ® ECO Phosphat (**Obr. 22**). Princíp stanovenia spočíva v reakcii molybdénu amónneho s fosforečnanovými iónmi v prítomnosti kyseliny fosfomolybdénovej, ktorá sa redukuje na fosfomolybdénovú modrú. Prítomná zmena sfarbenia analyzovanej vzorky sa meria pomocou prístroja PF12 plus pri vlnovej dĺžke 690 nm. Rozsah stanovenia týmto testom je na úrovni 0.6–15.0 mg/L PO_4^{3-} , v prípade vyšších koncentrácií je potrebné vzorku vhodne riediť.

6.4.6.6 Stanovenie a obsah draselných iónov v pôdnom výluhu

Stanovenie draslíka bolo realizované s použitím návodu a reagencií od spoločnosti Macherey-Nagel, ktoré sú súčasťou kolorimetrického kitu Visocolor ® ECO Phosphat (**Obr. 22**). Princíp stanovenia spočíva v reakcii draselných iónov s prítomným tetrafenylboritanom sodným za súčastného vzniku zákalu. Prítomná zmena sfarbenia analyzovanej vzorky sa

meria pomocou prístroja PF12 plus pri vlnovej dĺžke 690 nm. Rozsah stanovenia týmto testom je na úrovni 2–25 mg/L K⁺, v prípade vyšších koncentrácií je potrebné vzorku vhodne riediť.



Obr. 22 Fotometer PF-12Plus s kolorimetrickými setmi.

6.4.6.7 Modelové kolónové experimenty s rôznymi SAP

Cieľom týchto kolónových experimentov bolo porovnanie funkčnosti SAP AGRO s funkčnosťou SAP STARCH z pohľadu zadržiavania vody v modelovej pôde.

Celkovo bolo zhotovených 10 malých stĺpcových kolón (Obr. 23). Každá kolóna bola vyrobená z polyvinylchloridových rúrok (PVC) s vnútorným priemerom 7,5 cm a výškou približne 30 cm. Spodný koniec kolón bol utesnený pomocou plastovej ochrannej sietky a vrstvy gázy, ktorých cieľom je zamädzenie úniku pôdy pri záchytre pôdnego výluhu do zberných nádob. Do takto pripravenej kolóny boli plnené vopred odvážené homogénne zmiešané frakcie pôdy (0-10 cm a 10-20 cm) odobranej z rôznych vrstiev agrotechnických prístupov. Kolóny boli pripravené v nasledovnom zostavení:

- Prvé zostavenie – kolóna plnená s homogénne premiešanými čistými frakciami pôdy (2 kolóny).
- Druhé zostavenie – kolóna plnená homogénne premiešanou pôdou s prídavkom SAP STARCH alebo SAP AGRO (Tab. 2) zapracovaného do celej pôdy (4 kolóny).

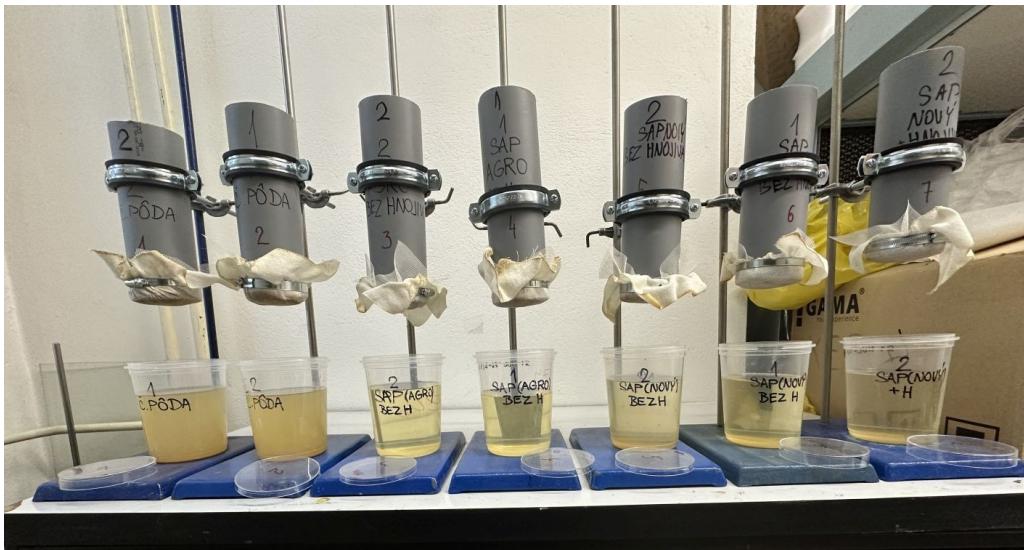
- Tretie zostavenie – kolóna plnená homogénne premiešanou pôdou s prídavkom NPK hnojiva a SAP STARCH resp. SAP AGRO (Tab. 2) zapracovaného do celej pôdy (4 kolóny).

Presné dávkovanie kolón je uvedené v prehľadovej tabuľke.

Tab. 2 Vzorové dávkovanie zložiek (pôda, SAP, NPK hnojivo) do modelových pôdnych kolón s rôznym SAP.

Pôdna kolóna	0-10 cm				10-20 cm			
	Pôda [g]	NPK [g]	STARCH SAP [g]	Agro SAP [g]	Pôda [g]	NPK [g]	STARCH SAP [g]	Agro SAP [g]
Pôda	460	-	-	-	460	-	-	-
Pôda + SAP AGRO	460	-	-	0,5	460	-	-	0,5
Pôda + SAP STARCH	460	-	0,5	-	460	-	0,5	-
Pôda + SAP AGRO + NPK	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	-	0,5	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	-	0,5
Pôda + SAP STARCH + NPK	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	0,5	-	460	LAD – 0,097 SF – 0,243 SD – 0,0595	0,5	-

Do každej z pripravených kolón sa postupne pridalo 800 ml destilovanej vody a zachytával sa pôdný výluh.



Obr. 23 Modelové pôdne kolóny s rôznymi SAP v procese zalievania.

6.4.6.8 Modelové kolónové experimenty s chemicky čistým pieskom

Cieľom týchto kolónových experimentov bolo porovnanie funkčnosti SAP (AGRO a STARCH) v chemicky čistej pieskovej matrici, ktorá simuluje štruktúrovitost' pôdnych agregátov bez chemických súčastí pôdy.

Celkovo boli použité 4 PVC kolóny s vnútorným priemerom 7,5 cm a výškou 30 cm. Spodný koniec kolón bol utesnený pomocou plastovej ochrannej sieťky a vrstvou gázy resp. v prípade časti experimentov so SAP bola použitá potravinárska fólia na zadržanie rýchleho odtoku vody z kolóny.

Do takto pripravených kolón bol plnený vopred odvážený chemicky čistý piesok v množstve 920 g čo predstavuje výšku pieskového stĺpca 20 cm. Do jednotlivých kolón sa postupne pridalo 800 ml destilovanej vody a zachytával sa výluh s cieľom stanoviť prirodzenú vodozádržnú kapacitu piesku. Následne sa piesok z kolón umiestnil do sušiarne a sušil do konštantnej hmotnosti pri teplote 45°C po dobu 24 h. Takto vysušený piesok bol opäťovne použitý pre nasledujúcu sadu experimentov.

Vysušený piesok bol premiešaný s 1g SAP (STARCH alebo AGRO). V rámci 2 pripravených kolón bolo použité utesnenie pomocou fólie s cieľom zadržať vodu v kolóne po dobu 2 h. Po uplynutí tohto času bola fólia odstránená a bol zachytávaný výluh do zbernej nádoby. Vo zvyšných 2 kolónach nebola použitá fólia a výluh bol zachytávaný okamžite. Po stanovení hmotností výluhov sa piesok obsahujúci SAP vysypal z kolón a sušil do konštantnej hmotnosti (45°C po dobu 24 h). Takto vysušený piesok so SAP bol opäťovne použitý na tretiu sadu experimentov.

Vysušený piesok so SAP bol umiestnený do kolón a boli pripravené celkovo 4 kolóny, ktoré sa odlišovali ako v prípade 2 sady experimentov v použití resp. nepoužití zádržnej fólie. Do pripravených kolón sa postupne pridalo 800 ml destilovanej vody s rozpustenou zmesou NPK hnojív (LAD – 0,194g, SF – 0,486g, SD – 0,119g) a opäťovne sa zachytával výluh s cieľom stanoviť vodozádržnú kapacitu piesku s príslušným SAP. Po ukončení experimentu sa tento piesok sušil do konštantnej hmotnosti a bol použitý v rámci štvrtej sady experimentov.

Boli pripravené štyri modelové kolóny obsahujúce piesok z predošlého experimentu, ktoré sa odlišovali v použití resp. nepoužití zádržnej fólie. Do takto pripravených kolón sa postupne pridalo 800 ml pôdneho výluhu zozbieraného v predošlých pôdnich experimentoch. Opäťovne sa stanovovalo množstvo výluhu zachyteného z pieskových kolón. Získané dáta sa použili pre stanovenie retenčných charakteristík SAP.



Obr. 24 Porovnávací test SAP-ov STARCH (A) a AGRO (B) v chemicky čistom piesku.

6.4.7 Stanovenie retenčnej schopnosti SAP v modelových roztokoch

Experimenty na zistenie absorpcnej kapacity SAP boli založené na gravimetrickom stanovení množstva vody zachytenej 3 testovanými hydrogélmami (AGRO, SEED, STARCH). Stanovenie nasiakavosti hydrogélov bolo realizované vo vopred odvážených celulózových vrecúškach. Následne sa do celulózových vrecúšok navážilo vopred definované množstvo príslušného typu SAPu cca 0,625 g a vrecúško so SAPom bolo ponorené do príslušného roztoku:

- Roztok č. 1 – deionizovaná voda,

- Roztok č. 2 – roztok obsahujúci deionizovanú vodu s nízkou koncentráciou NPK hnojiva (Error: Reference source not found). Koncentrácia roztoku NPK hnojiva bola zvolená za účelom simulovania ideálnej homogénnej distribúcie hnojiva v pôde resp. v pôdnom roztoku,
- Roztok č. 3 – roztok obsahujúci deionizovanú vodu s vysokou koncentráciou NPK hnojiva. Koncentrácia roztoku NPK hnojiva (**Error: Reference source not found**) bola zvolená za účelom simulovania bodovej aplikácie hnojiva do pôdy, pri ktorej môže nastáť riziko zvýšenej koncentrácie NPK hnojiva v blízkosti SAP,
- Roztok č. 4 – pôdne výluhy,

Tab. 3 Množstvá prídavkov hnojív používaných v experimentoch.

Hnojivo	Roztok (nekoncentrovaný)			Roztok (koncentrovaný 16x)		
	LAD [g]	SF [g]	SD [g]	LAD [g]	SF [g]	SD [g]
návažok	0,194	0,486	0,119	3,104	3,888	1,904

Objem uvedených roztokov bol v prípade každého testu nasiakavosti 100 ml. Test nasiakavosti trval po dobu 2 h a bol realizovaný pre všetky 3 typy SAP (Obr. 25). Každý test nasiakavosti bol vykonaný v 3 paralelných stanoveniach (celkovo 36 testov nasiakavosti). Po 2 h sa stanovila hmotnosť SAP v celulózovom vrecúšku a realizovalo sa vyhodnotenie podľa príslušného vzorca:

Absorpčná kapacita polyméru bola vypočítaná podľa rovnice (2):

$$Q = m_1 - m_0 / m_0 \quad (2)$$

Q – kapacita napučiavania hydrogélu (g/g)

m_0 – hmotnosť SAP v celulózovom vrecúšku pred napučiavaním (g)

m_1 – hmotnosť napučaného hydrogélu (g)

Množstvo zadržanej vody v SAP sa sledovalo počas 3 až 5 dní na stanovenie evaporačný charakteristík.



Obr. 25 Test retenčnej schopnosti SAP v čajových vrecúčkach.

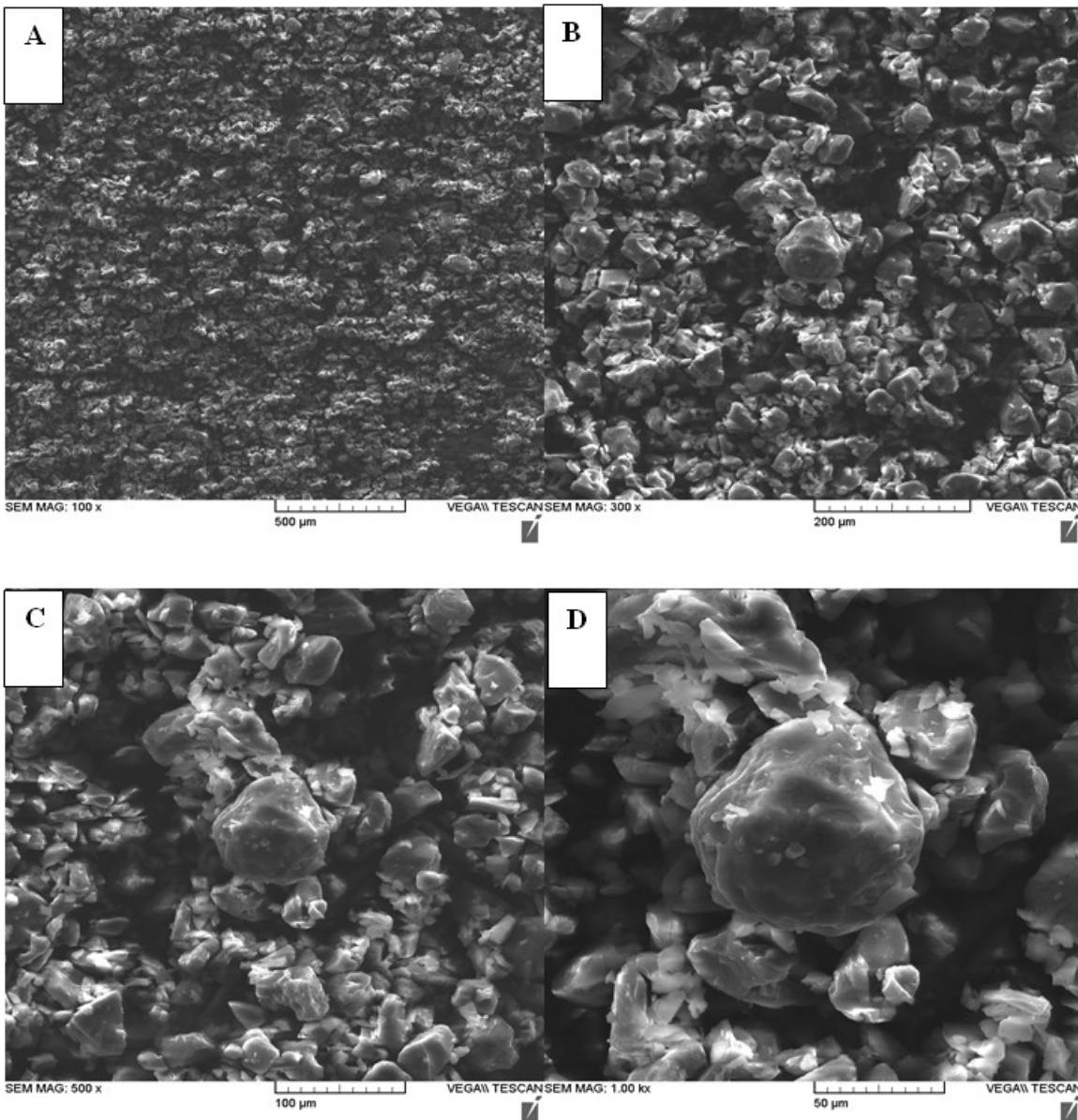
7 Výsledky a diskusia

7.1 SEM–EDX analýza vzoriek SAP

S cieľom detailnejšej charakterizácie študovaných vzoriek superabsorpčných polymérov (SAP) STARCH, AGRO a SEED sme uskutočnili ich analýzu pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie (SEM) spolu s energo-disperznou (EDX) analýzou. Tie nám okrem charakterizácie tvaru, štruktúry a veľkosti častíc a celkovo homogenity študovaných vzoriek hydrogélov umožnili zistiť aj kvalitatívne, resp. semikvantitatívne zastúpenie významných prvkov tvoriacich tieto SAP zmesi. Pri všetkých troch vzorkách SAP sme mikroskopicky hodnotili vzhľad častíc pri rôznych zväčšeniach od 100-násobného až po 1 000-násobné.

7.1.1 SEM-EDX analýza vzorky SAP STARCH

Na (Obr. 26) sú znázornené získané mikroskopické snímky povrchu častíc superabsorpčného polyméru STARCH, ktorý reprezentuje dvojzložkovú zmes škrobu (60 % hmot.) a zmesi (40 % hmot.) kyseliny akrylovej a polyakrylamidu vo vzájomnom hmotnostnom pomere 10 : 1. Mikroskopická analýza nám ukázala, že hodnotenú vzorku SAPu STARCH tvoria najmä častice zhruba rovnakých veľkostí 20 – 40 μm a s občasným výskytom väčších aglomerátov v rozmedzí veľkostí 50 – 100 μm . S najväčšou pravdepodobnosťou častice sférického tvaru reprezentujú zrná škrobu, ktoré sú vo vzorke hydrogélu dobre rozptýlené. Celkovo môžeme povedať, že vzorka hydrogélu reprezentuje relatívne homogénnu zmes uvedených častíc a látok, ktoré ju tvoria. S podobnými charakteristikami superabsorpčného polyméru na báze škrobu sa môžeme stretnúť aj v práci autorov Dispat a kol. (2020), ktorí obdobne hodnotili hydrogél pripravený na báze ZnO/SiO₂-modifikovaného škrobovo-polyakrylátovým polymérom.

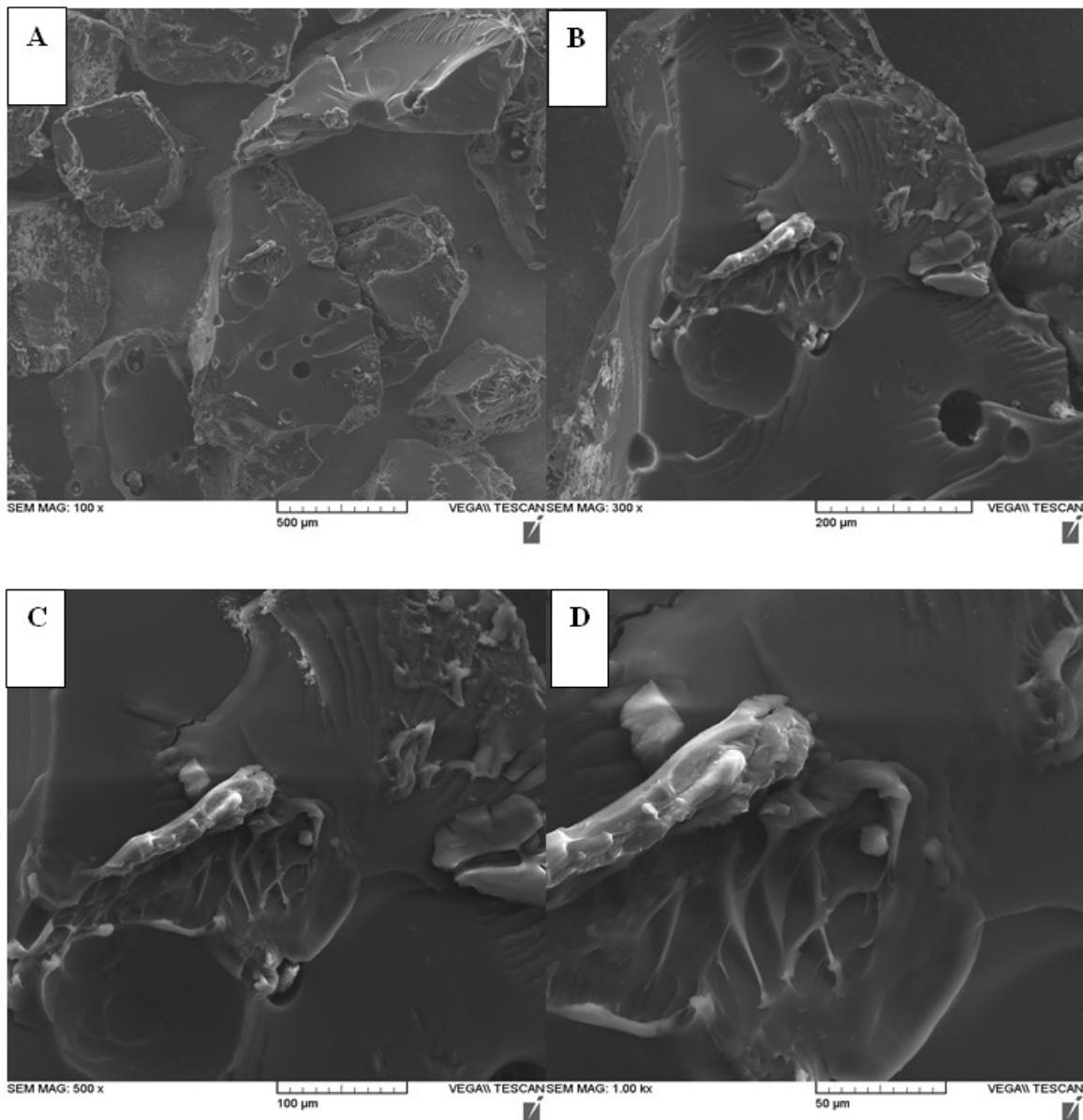


Obr. 26 Mikroskopický vzhľad častic superabsorpčného polyméru STARCH získaný pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie pri rôznom zväčšení: 100x (A), 300x (B), 500x (C) a 1 000x (D).

7.1.2 SEM-EDX analýza vzorky SAP AGRO

V prípade vzorky superabsorpčného polyméru AGRO nám elektrónmikroskopická analýza ukázala, že táto vzorka, chemicky pozostávajúca z kyseliny akrylovej a polyakrylamidu vo vzájomnom hmotnostnom pomere 10 : 1, bola reprezentovaná časticami rôznych tvarov a veľkostí od desiatok mikrometrov až po stovky mikrometrov (Obr. 27). Teda v porovnaní s predchádzajúcou vzorkou hydrogélu STARCH ide o časticovo hrubšiu a heterogénnejšiu zmes. Jej forma pravdepodobne súvisí s jej aplikačným využitím, kedy producent hydrogélu

zmesi (PEWAS, s.r.o.) odporúča aplikovať tento prípravok (pod komerčným názvom Aqua holder) priamo do pôdy s cieľom zadržiavania vody a živín.

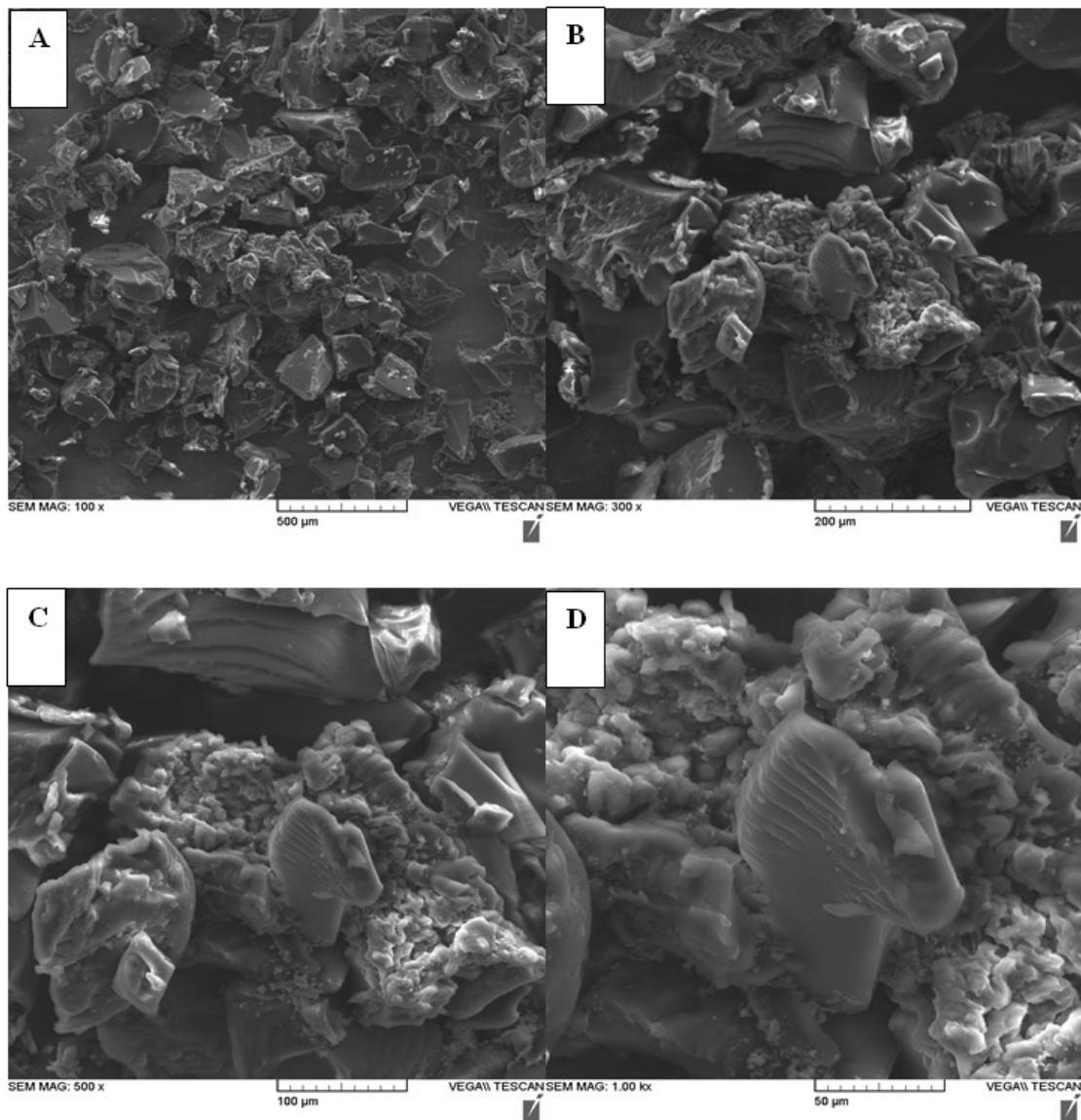


Obr. 27 Mikroskopický vzhľad častic superabsorpčného polyméru AGRO získaný pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie pri rôznom zväčšení: 100x (A), 300x (B), 500x (C) a 1 000x (D).

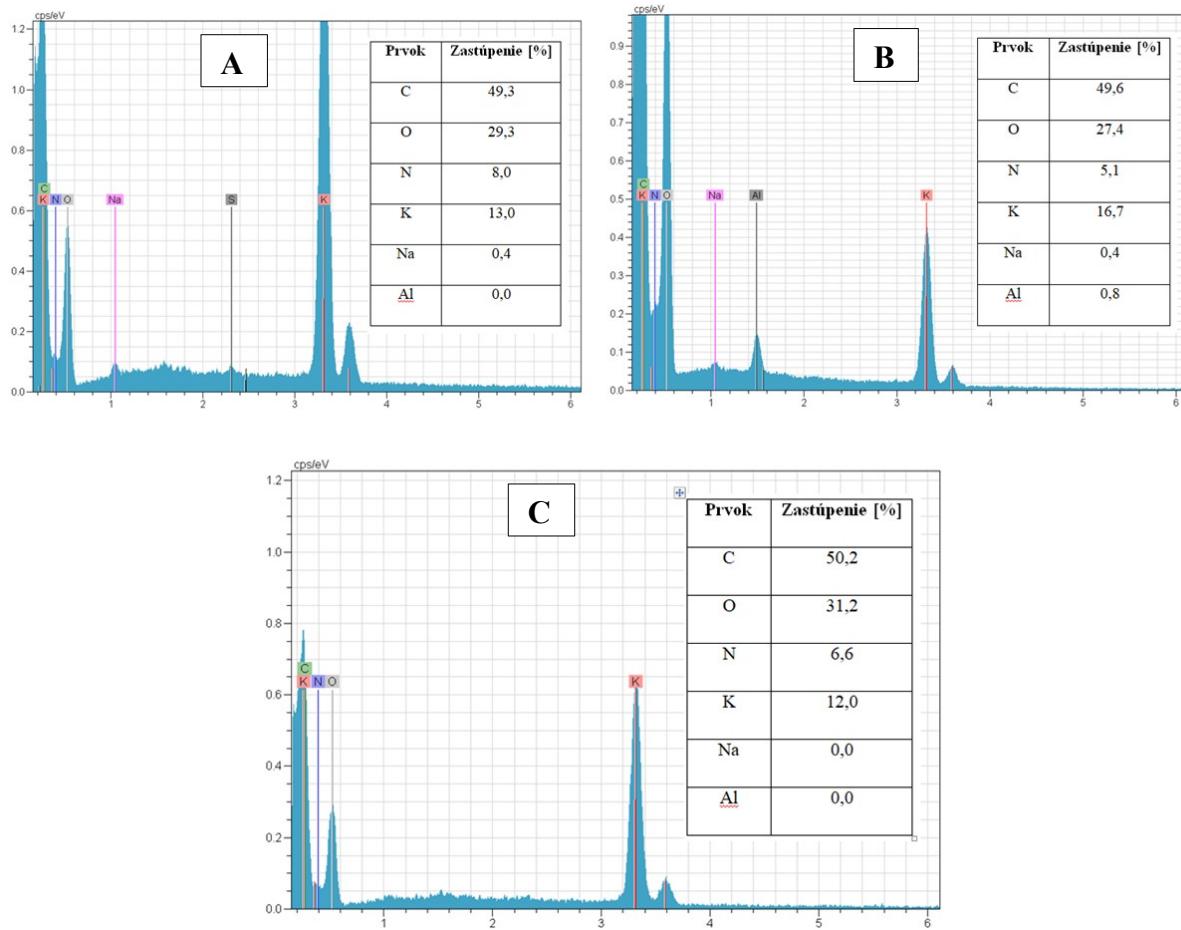
7.1.3 SEM-EDX analýza vzorky SAP SEED

Vzorku superabsorpčného polyméru SEED reprezentovali skôr menšie častice tejto zmesi, ktorá chemicky pozostávala najmä z kyseliny akrylovej a polyakrylamidu vo vzájomnom hmotnostnom pomere 10 : 1. Teda išlo o chemicky totožnú zmes, ako to bolo v prípade SAPu

AGRO, s tým rozdielom, že zmes SEED bola reprezentovaná časticami o veľkosti desiatok mikrometrov. Na základe mikrosnímok získaných z elektrónového mikroskopu (Obr. 28) môžeme povedať, že išlo o relatívne homogénnu zmes, ktorá vykazovala jemnejšiu frakciu, čo sa týka veľkosti častíc, ktoré ju tvorili. Aj v tomto prípade hrá dôležitú úlohu jej aplikačné využitie, kedy producent tejto SAP zmesi SEED (PEWAS, s.r.o.) ju aplikuje v podobe jemných filmov nanesených špeciálnou technológiou na zrná širokej palety poľnohospodárskych plodín (prakticky od maku až po kukuricu).



Obr. 28 Mikroskopický vzhľad častíc superabsorpčného polyméru SEED získaný pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie pri rôznom zväčšení: 100x (A), 300x (B), 500x (C) a 1 000x (D).



Obr. 29 Spektrum hodnotiace zastúpenie významných prvkov vo vzorkách superabsorpčných polymérov AGRO (A), STARCH (B), SEED (C) získané z EDX analýzy.

Na (Obr. 29) sú znázornené EDX spektrá získané pre všetky tri študované vzorky superabsorpčných polymérov STARCH, AGRO a SEED, ktoré charakterizujú tieto zmesi z pohľadu kvalitatívneho, ale aj semikvantitatívneho zastúpenia prvkov tvoriacich tieto polyméry. Ako môžeme vidieť, v prípade zmesi SAP STARCH zastúpenie jednotlivých prvkov klesalo z pohľadu ich percentuálneho hmotnostného podielu vo vzorke v nasledovnom poradí: C (49,6 %) > O (27,4 %) > K (16,7 %) > N (5,1 %) > Al (0,8 %) > Na (0,4 %). Je nutné uviesť, že signál pri Al pravdepodobne pochádzal z podložky na uchytenie vzorky. Pri vzorke SAP AGRO elementárne zastúpenie klesalo v poradí: C (49,3 %) > O (29,3 %) > K (13,0 %) > N (8,0 %) > Na (0,4 %). Totožný polymér SEED, ale v jemnejšej frakcii v porovnaní so SAPom AGRO, pozostával z nasledovných prvkov, ktorých hmotnostné zastúpenie klesalo v nasledovnom poradí: C (50,2 %) > O (31,2 %) > K (12,0 %) > N (6,6 %). Na základe týchto výsledkov môžeme povedať, že všetky tri študované vzorky superabsorpčných polymérov obsahovali významné podiely K ako dôležitého mikroelementu

vo výžive rastlín, pričom jeho podiel klesal v poradí: SAP STARCH (16,7 % hmot.) > SAP AGRO (13,0 % hmot.) > SAP SEED (12,0 % hmot.).

7.2 Lokalizačné údaje

Záujmové územie je kontinentálneho charakteru podnebia a nachádza sa v nadmorskej výške 167 m n. m. Testovacia lokalita je typu degradovanej černozeme s hĺbkou humusového horizontu 400 – 500 mm. Ornica a podorničné horizonty sa vyznačujú miernym zhutnením. Priemerný ročný úhrn zrážok na záujmovej lokalite predstavuje 593 mm.

7.2.1 Chemický rozbor vzoriek pôdy

V rámci záujmovej lokality boli stanovené vybrané ióny kovov (**Error: Reference source not found**). Najviac zastúpené ióny boli Fe (3,03-3,26 hm.%), Mg (0,65-0,71 hm.%) a Mn (0,092-0,099 hm.%). Najmenej zastúpené ióny predstavovali Zn (0,0078-0,0087 hm.%), Cu (0,0022-0,0029 hm.%) a Co (0,0011-0,0012 hm.%). Z uvedených malých rozdielov v rámci stanovenáych intervalov je možné konštatovať, že rôzne agrotechnické prístupy nemajú významný vplyv na zastúpenie uvedených prvkov v pôde.

Tab. 4 Obsah kovových iónov v pôde.

Technológia	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	Co (%)	Cu (%)	Zn (%)
Bez.	3,11	0,68	0,095	0,0012	0,0028	0,0082
Konv.	3,04	0,65	0,092	0,0012	0,0022	0,0078
Mini.	3,03	0,66	0,092	0,0012	0,0029	0,008
Mulč.	3,26	0,71	0,099	0,0011	0,0024	0,0087

V rámci záujmovej lokality boli stanovené makro-zložky uvedené v (**Error: Reference source not found**). Najviac zastúpené prvky boli K₂O (2,38-2,56 hm.%), K (1,98-2,13 hm.%), Ca (0,57-0,62 hm.%) a P₂O₅ (0,202-0,233 hm.%). Medzi najmenej zastúpené patrili P (0,088-0,102 hm.%), S_{celk.} (0,03 hm.%) a TOC (1,77-2,03 hm.%). Hodnoty makroprvkov sa medzi agrotechnologickými prístupmi líšili v minimálnom rozsahu. Z uvedených intervalov je možné konštatovať, že rôzne agrotechnické prístupy nemajú významnú úlohu v zastúpení makro-zložiek v pôde.

Tab. 5 Obsah makro-zložiek v pôde.

Technológia	Ca (%)	K (%)	K ₂ O (%)	P (%)	P ₂ O ₅ (%)	S _{celk.} (%)	TOC (%)
Bez.	0,61	2,01	2,42	0,097	0,223	0,03	1,78
Konv.	0,57	1,98	2,38	0,088	0,202	0,03	1,77

Mini.	0,57	1,98	2,39	0,091	0,209	0,03	2,02
Mulč.	0,62	2,13	2,56	0,102	0,233	0,03	2,03

Za účelom stanovenia mobility vybraných pôdnych prvkov (živín) bolo realizované stanovenie obsahu NO_3 , NO_2 , PO_4 , NH_3 a K v pôdnych výluhoch získaných z jednotlivých vzoriek čistých pôd. Cieľom tohto stanovenia je určiť celkový obsah zdrojov dusíka, fosforu a draslíka v pôde. Pred aplikovaním hnojív.

Tab. 6 Množstvo stanovených zdrojov dusíka, fosforu a draslíka v pôdnych výluhoch.

Vzorka	NO_3 [mg/l]	NO_2 [mg/l]	PO_4 [mg/l]	NH_3 [mg/l]	K [mg/l]
mini č. pôda	784	31	6,5	1,1	7
bez č. pôda	554	28	8,5	0,7	8
konv č. pôda	368	17	6,5	0,3	9
mulč č. pôda	368	28	10,5	0,1	5

V jednotlivých vzorkách pôd sa stanovil celkový obsah dusíka, kde sa zaznamenali hodnoty pre dusičnan v rozsahoch od 368 do 784 mg/l. Ich najväčšie množstvo sa uvoľnilo pri minimalizačnej technológií 784 mg/l (Tab. 6). Ďalej boli stanovené hodnoty pre dusitany v rozsahu od 17 do 31 mg/l a ich najväčšie množstvo sa uvoľnilo rovnako pri minimalizačnej technológií 31 mg/l. Najnižšie zastúpenie v rámci celkového obsahu dusíka sa zaznamenalo pri NH_3 iónoch. V rozmedzí od 0,1 do 1,1 mg/l a jeho najväčšie množstvo bolo uvoľnené pri minimalizačnej technológií 1,1 mg/l. Celkovo vykazovala minimalizačná technológia najvyššie straty dusíka z pôdy.

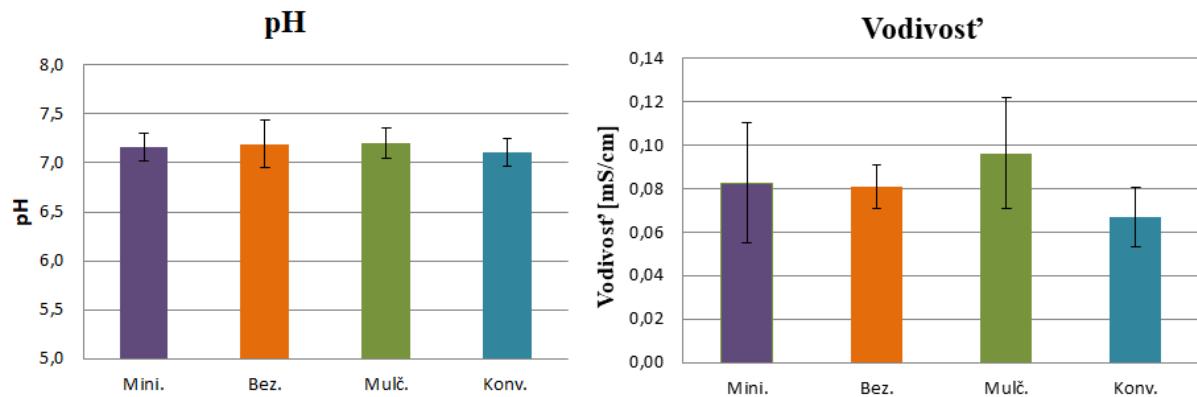
Obsah fosforečnanov sa pohyboval v rozsahoch od 6,5 do 10,5 mg/l a najväčšie množstvo sa uvoľnilo z pôdy odobranej na políčku obrábanou mulčovacou technológiou 10,5 mg/l. Draslík a jeho celkové množstvo v pôdnych výluhoch sa pohybovalo v rozsahu od 5 do 9 mg/l. Výluh z konvenčnej technológie zaznamenal najvyššie množstvá uvoľneného draslíka 9 mg/l.

7.2.2 Fyzikálno-chemický rozbor vzoriek pôd

V rámci odberových miest sa vykonali merania pH pri rôznych agrotechnických prístupoch. Priemerné hodnoty pH sa pohybovali v rozmedzí od 7,10 do 7,20 pH (Obr. 30), čo je charakteristické najmä pre neutrálne pôdy na poľnohospodárske účely. Rozdiely v hodnotách pH v záujmovej lokalite sú minimálne až zanedbateľné čím môžeme konštatovať, že vplyv rôznych agrotechnológií nemá významný vplyv na zmenu pH na danej lokalite.

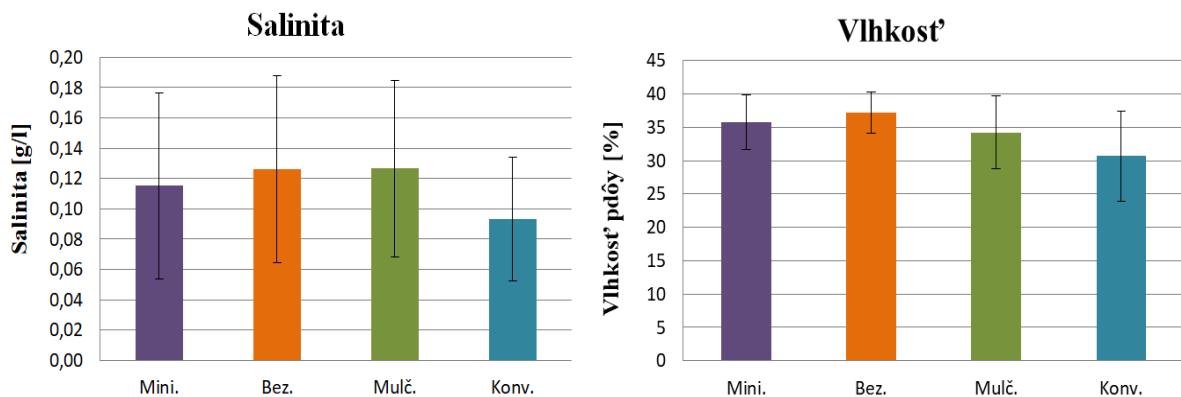
V rámci meraní vodivosti sa zaznamenali celkovo nízke hodnoty, ktoré sa nachádzali v intervale od 0,067 do 0,096 mS/cm. Mierny nárast hodnôt vodivosti pôdnego roztoku sa

zaznamenal pri testovacích políčkach v rámci segmentu 3, ktoré sú v blízkosti stromoradí tvoriacich hranicu pozemku. Tu sa môže vyskytovať zvýšená miera opadavky, ktorá môže lokálne zvýšiť hodnoty parametra vodivosti.



Obr. 30 Grafické znázornenie priemerných hodnôt pH a vodivosti pôdy na monitorovanej lokalite.

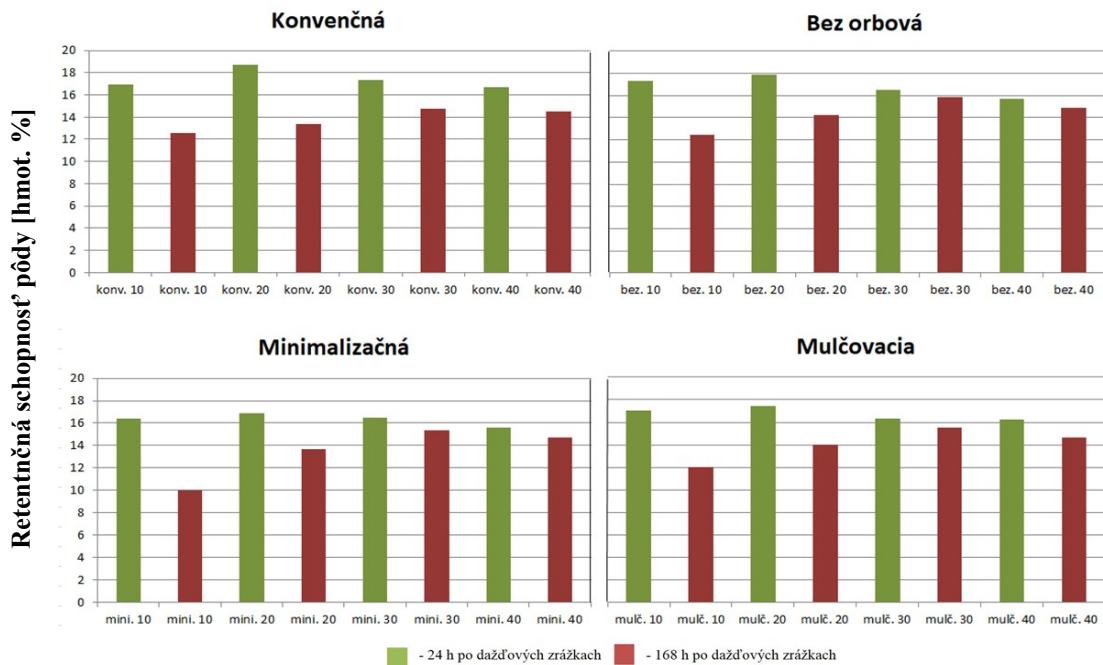
Salinita pôdy na odberových segmentoch rôznych agrotechnologických prístupov nepredstavovala zvýšené hodnoty. Meracie rozmedzie salinity pôdy bolo na úrovni od 0,09 – 0,13 g/l (Obr. 31) čo sú nízke hodnoty obsahu solí v pôde, ktoré nepredstavujú negatívny vplyv na kvalitu pôdy a jej úrodnosť. Z toho sa dá predpokladať, že rôzne poľnohospodárske technológie nemajú významný vplyv na slanost pôdy. Záujmová lokalita Borovce bola podrobnená meraniam vlhkosti pôdy (Obr. 31). Merania preukázali možný vplyv agrotechnologického prístupu na množstvo pôdnej vody. Výrazný rozdiel sme zaznamenali medzi technológiami (bez. 37,24 % a konv. 30,67 %). Pravdepodobne hlavným dôvodom nižších hodnôt pri konvenčnej technológií je narušenie vrchných častí pôdných horizontov rozrušením pôdných pórov a kapilár. Následne dochádza k narušeniu vodozádržnej schopnosti pôdy a rýchlejšej evaporácií. Vyššie hodnoty vlhkosti pri bezborovej technológií sú znakom nerozrušenej pôdnej štruktúry.



Obr. 31 Grafické znázornenie nameraných hodnôt salinity a vlhkosti pôdy na monitorovanej lokalite.

7.2.3 Vyhodnotenie vodozádržných vlastností pôdy

Retenčná schopnosť pôdy 24 h po zrážkach preukázala najvyššie hodnoty v (20 cm pôdneho horizontu), a to pri každej z technológií. Najväčšia retenčná schopnosť bola zaznamenaná pri (konv. technológií 18,7 hmot.%) > (bez. 17,8 hmot. %) > (mulč. 17,4 hmot. %) > (mini. 16,8 hmot. %), kde sa zadržalo najmenšie množstvo vody (Obr. 32).



Obr. 32 Retenčná schopnosť pôdy v odlišných pôdných vrstvách (10, 20, 30, 40 cm) obhospodarovanej rôznou agrotechnológiou.

V 20 cm pôdnej vrstve vystriedala v najväčšej retenčnej schopnosti bez. technológiu konvenčná technológia. Pri konvenčnej technológií dochádza k výraznému narušeniu

vrchných častí pôdneho horizontu. Pre veľkú nerovnosť povrchu konvenčnej technológie a zvýšenej pôrovitosti pôdy môže spôsobiť vyššiu kumuláciu vody v nižších vrstvách pôdneho horizontu.

Najväčšia retenčná schopnosť pôdy v 10 cm vrstve 24 h po zrážkach bola zaznamenaná pri (bez. tech. kde dosahovala – 17,3 hmot.% a ďalej klesala pri zvyšných technológiách v poradí: (mulč. – 17 hmot. %) > (konv. 16,9 hmot. %) > (mini. 16,4 hmot. %)). Bez orbová technológia má najväčšiu retenčnú schopnosť v povrchovej vrstve (10 cm 17,3 hmot.%), čo môže byť spôsobené nenarušenými pôdnymi kapilárami a tým je schopná viazať a zadržať väčšie množstvo vody v povrhovej vrstve. Minimalizačná technológia preukázala najmenšiu retenčnú schopnosť v (10 cm 16,4 hmot. %).

Najnižšiu retenčnú schopnosť vykazovala pôda pri mini. tech., a to v oboch prípadoch (10 cm - 16,4 hmot. % a 20 cm - 16,8 hmot. %). Na základe tejto nízkej retenčnej schopnosti sa dá usúdiť, že na danej lokalite predstavuje tento typ agrotechnického prístupu vhodného kandidáta na aplikáciu SAP.

7 dní po dažďových zrážkach sa zaznamenala najvyššia retenčná schopnosť v 30 cm vrstve pôdy, a to pri každej z agrotechnológií. Najvyššia retenčná schopnosť bola zaznamenaná pri (bez. tech. 15,82 hmot.%) a ďalej klesala pri zvyšných tech. nasledovne (mulč. 15,5 hmot.%) > (mini. 15,4 hmot.%) > a (konv. 14,7 hmot.%).

Z pohľadu polnohospodárstva sú najdôležitejšimi pôdnymi horizontmi 10 a 20 cm vrstvy, ktoré sú klíčové a udávajú množstvo a kvalitu polnohospodárskych plodín.

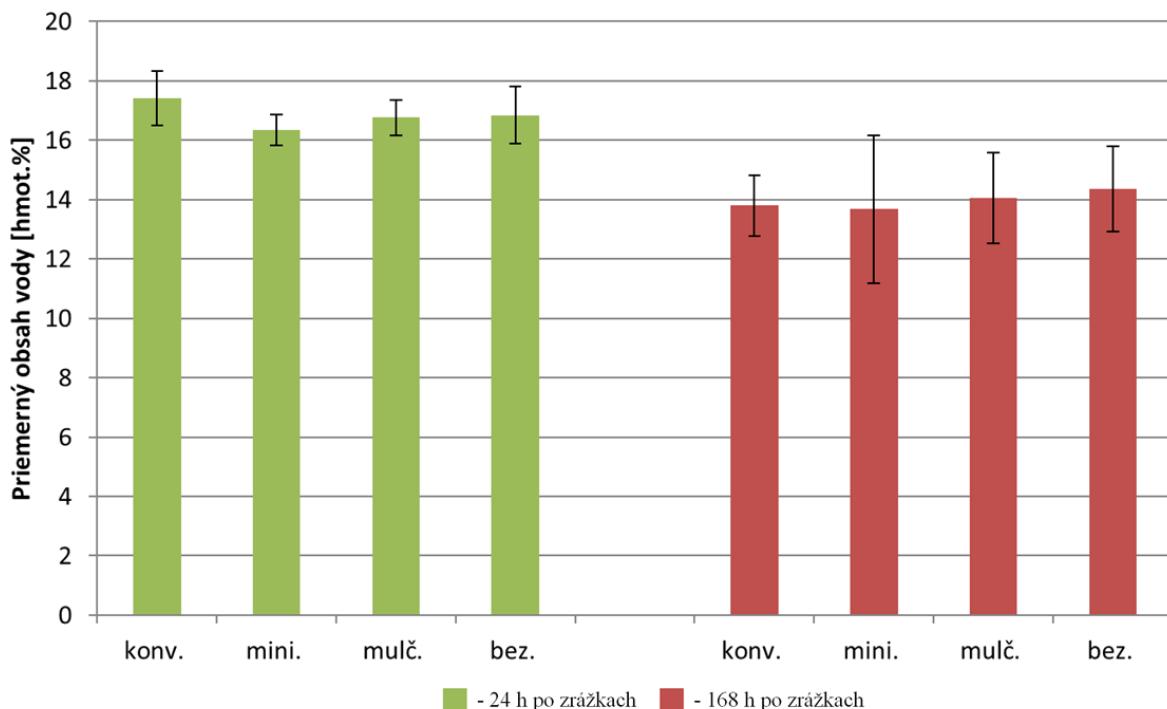
Najväčšia retenčná schopnosť pôdy v 10 cm vrstve 7 dní po dažďových zrážkach predstavovala (konv. tech. – 12,5 % hmot.%) a pokles pri ďalších tech. bol nasledovný (bez. – 12,4 hmot. %) > (mulč. 12 hmot. %) > (mini. 10 hmot. %). Konvenčná technológia spolu s bez orbovou vykazovali najväčšie množstva pôdnej vody v 10 cm. Pri konvenčnej technológií je retenčná schopnosť pôdy pravdepodobne spôsobená tvorbou mohuntných zhľukov (agregátov) pôdy, ktoré znemožňujú výpar, podobný jav sme zaznamenali aj v sušiarni pri sušení tejto nespracovanej vzorky. Pri bez orbovej technológií nedochádza k narušeniu pôdných horizontov čím sa zachováva štruktúra pôdy, pôdne póry a kapiláry, ktoré sú následne schopné zadržať väčšie množstvo vody aj pri suchších obdobiach.

Najväčšia retenčná schopnosť pôdy v 20 cm vrstve 7 dní po dažďových zrážkach predstavovala (bez. – 14,2 hmot. %) a pokles pri ďalších tech. bol nasledovný (mulč. – 14 hmot. %) > (mini. 13,6 hmot. %) > (konv. 13,3 hmot.%). Bez orbová technológia pre svoju neporušenú pôdnú štruktúru zadržala najväčšie množstvo vody (14,2 hmot.%). Zvýšené

množstvá pôdnej vody pri mulčovacej technológií sú pravdepodobne spôsobené rozloženými pozberovými zvyškami na povrchu pôdy, čím sa minimalizuje výparná schopnosť pôdy a maximalizuje zadržiavacia schopnosť.

Najviac náchylné pôdy na stratu vody sú pri 10 cm minimalizačné (10 hmot. %) a pri 20 cm konvenčná (13,3 hmot.%) a je odporúčaním do týchto pôd aplikovať SAP aby sa tomuto efektu zamedzilo.

Najväčší priemerný obsah vody v celom pôdnom stĺpci 24 h po zrážkach bol zaznamenaný pri (konvenčnej technológií $17,4 \pm 0,91$ hmot.%), kde klesal pri ostatných tech. nasledovne (bez. $16,8 \pm 0,96$ hmot.%) > (mulč. $16,7 \pm 0,6$ hmot.%) > (mini. $16,3 \pm 0,52$ hmot.%).



Obr. 33 Priemerný obsah vody v pôde pri rôznych agrotechnológiách.

7 dní po dažďových zrážkach sa zaznamenal najväčší obsah pôdnej vody pri (bez orbovej technológií $14,3 \pm 1,42$ hmot.%) a pokles pri ďalších tech. bol nasledovný (mulč. $14 \pm 1,5$ hmot.%) > (konv. $13,8 \pm 1$ hmot.%) > (mini. $13,3 \pm 2,5$ hmot.%).

Najväčší priemerný rozdiel v obsahu pôdnej vody 3,6 hmot.% bol zaznamenaný pri konvenčných vzorkách pôd. Vysoký pokles obsahu pôdnej vody môže byť spôsobený narušením povrchovej vrstvy pôdy, čím dochádza k zvýšenej evaporácii a prieniku pôdnej vody do nižších vrstiev pôdneho horizontu

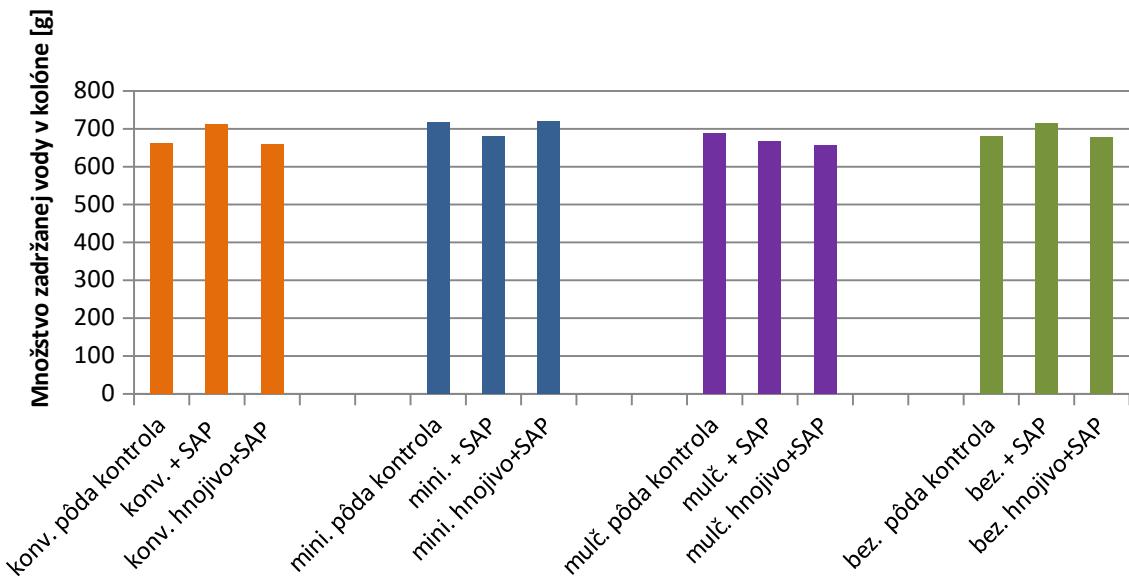
Najmenší rozdiel v obsahu pôdnej vody 2,48 hmot. % bol zaznamenaný pri bez orbových vzorkách. Nízky rozdiel poklesu pôdnej vody v celom pôdnom horizonte môže byť spôsobený nenarušením vrchných častí pôdnich vrstiev. Nenarušená pôdna struktúra (póry a kapiláry) tak dokážu zadržať väčšie množstvo vody.

7.2.4 Vyhodnotenie modelových kolónových experiminetov

V rámci prvých kolónových pôdnich experimentov sa hodnotila možnosť použitia nového typu SAP STARCH s aplikáciou do vzoriek pôd, ktoré boli odobrané na jednotlivých testovacích políčkach v rámci lokality Borovce. Pre každý agrotechnický prístup boli realizované celkovo 4 rôzne experimenty (Tab. 1Tab. 2) pri ktorých sme stanovovali množstvo vody zadržanej v pôde resp. množstvo výluhu prejdeného do zberných nádob. Množstvo vody zachytenej v pôdnej kolóne obsahujúcej SAP resp. SAP s NPK hnojivom sme porovnávali s množstvom vody zadržanej tzv. kontrolnej vzorke. Priemerná hodnota zadržanej vody stanovená pre vzorku čistej pôdy a pôdy s NPK hnojivom. S touto priemernou hodnotou prirodzenej vodozádržnej kapacity pôdy sme pracovali pri porovnávaní ďalších výsledkov.

Nakoľko nepredpokladáme, že prídavok NPK hnojiva do pôdy by spôsobil výraznú zmenu vo vodozádržnej kapacite pôdy, tak sme pre stanovenie prirodzenej retenčnej schopnosti pôdy použili priemernú hodnotu, pre experimenty pri ktorých bola testovacia kolóna plnená vzorkou pôdy resp. vzorkou pôdy s NPK hnojivom.

V prípade kolón plnených pôdnymi frakciami odobraných v rámci testovacích políčok obhospodarovaných konvenčnou technológiou sa zaznamenala pre kontrolnú vzorku pôdy vodozádržná kapacita na úrovni 662 g vody čo predstavuje $0,36 \text{ g}_{\text{voda}}/\text{g}_{\text{pôda}}$. Vo vzorke pôdy s aplikovaným SAP sme zaznamenali mierny nárast obsahu vody v pôde, a to o 48 g (710 g) (Obr. 34). V pôdnej kolóne obsahujúcej vzorku SAP a hnojiva sa pozoroval mierny pokles v retencií vody oproti vzorke č. pôdy (4 g).



Obr. 34 Množstvá zadržanej vody v modelových pôdnych kolónach.

Veľmi podobný tred vykazovala vzorka pôd odobraných z políčok obhospodarovaných bez orbovou technológiou s obsahom SAP a SAP + hnojivo, kde sa rovnako zaznamenalo zvýšenie retenčnej kapacity pôdy v prípade SAP (715 g) (Obr. 34) čo predstavovalo o 34 g vyššiu hodnotu ako pri kontrolnej vzorke (681 g), s následným miernym poklesom v prítomnosti NPK hnojiva, kde kapacita klesa o 37 g oproti kolóne so SAP.

V prípade pôdnych kolón plnených vzorkami odobranými z políčok obhospodarovanými minimalizačnou technológiou sa zaznamenala zvýšená vodozádržná kapacita pre kontrolnú vzorku pôdy (716 g) v porovnaní s konvenčnou vzorkou (662 g). Vo vzorke pôdy s aplikovaným SAP sme ale zaznamenali pokles množstva vody zadržiavanej v pôdnej kolóne oproti kontrolnej vzorke a to o 38g (679g). Pôdna kolóna obsahujúca vzorku pôdy so SAP a NPK hnojivom vykazovala porovnatelnú vodozádržnú kapacitu ako kontrola (720 g vody v pôdnej kolóne).

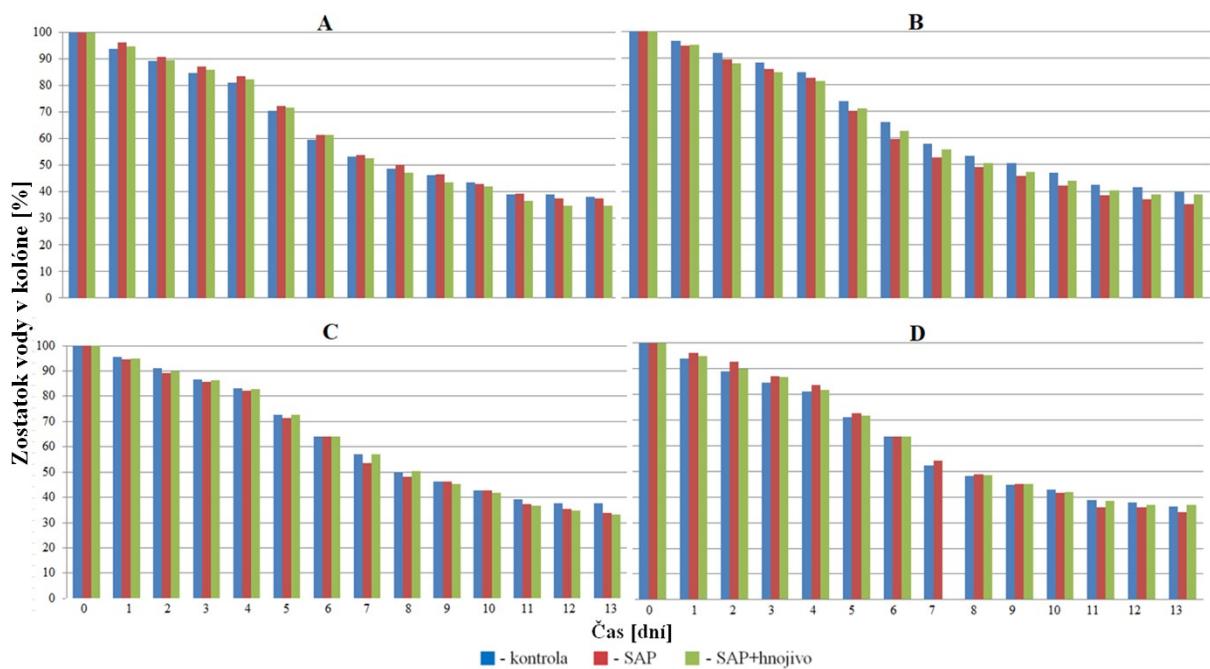
V prípade pôdnych kolón plnenými frakciami odobraných z testovacích políčok obhospodarovanými mulčovacou technológiou sa zaznamenala znížená retenčná schopnosť pri kontrolnej vzorke pôdy (689 g) v porovnaní s minimalizačnou vzorkou (716 g). Pokles retenčnej schopnosti v porovnaní s kontrolou sme zaznamenali pri kolónach s obsahom SAP, a to o 23 g (665 g) a SAP + hnojivo o 32g (656 g) (Obr. 34).

Z uvedených kolónových testov sa preukázalo, že SAP aplikovaný do pôdy mal tendenciu zvýšiť vodozádržnú kapacitu pôdy oproti kontrolnej vzorke, ak sa v pôde nachádzal prídavok NPK hnojiva. To znamena, že zvýšenie retenčnej schopnosti nastalo pri konvenčnej

a bezborbovej technológií v prípade, ak nebolo do pôdy aplikované NPK hnojivo. Po jeho aplikácií nastal výrazný pokles vo vodozádržnej kapacite pôdy.

Pri zvyšných dvoch agrotechnicky obhospodarovaných vzorkách pôd (mulč. a mini.) sa nepodarilo stanoviť pozitívny vplyv SAP v zmysle zlepšenia retenčných vlastností pôdy. Ako možné príčiny tohto rozdielu môžu byť prirodzená nehomogenita vo vzoroch pôdy, teda odlišná štruktúrovitosť pôdy, ale s veľkou pravdepodobnosťou pôjde o chybu, ktorá by bola odstrániteľná pri parálélnych kolónových experimentoch. Z dôvodu časových náročností experimentu nemohli uskutočniť.

Za účelom stanovenia možnosti použitia SAP v pôde ako ochranného prostriedku voči zvýšenej strate vody spôsobenej výparom boli realizované následovné experimenty. Vodozádržná schopnosť pôdy bola ďalej posudzovaná na základe pravidelného gravimetrického stanovenia, ktorým sa vyhodnocovalo množstvo odparenej vody. Odparovanie prebiehalo v dvoch režimoch prvých 7 dní bolo realizované sušenie za štandardných laboratórnych podmienok a po 7 dňoch následne v sušiarni pri teplote 45°C po dobu 6 dní. Výsledky sú prezentované v podobe grafov (Obr. 35).



Obr. 35 Zostatok množstva vody v pôdnich kolónoch rôznych agrotechnických typov (A) – konv. (B) – mini. (C) – mulč. (D) – bez. počas 13 dní sušenia.

Pri kolónových vzorkách pôd konvenčnej technológie sa zaznamenala vyššia retenčná schopnosť pri testovacej kolóne s obsahom SAP. Zvýšená odolnosť tejto kolóny voči strate vody bola zaznamenaná počas 10 dní sušenia, kedy v nej bolo stanovené vyššie množstvo

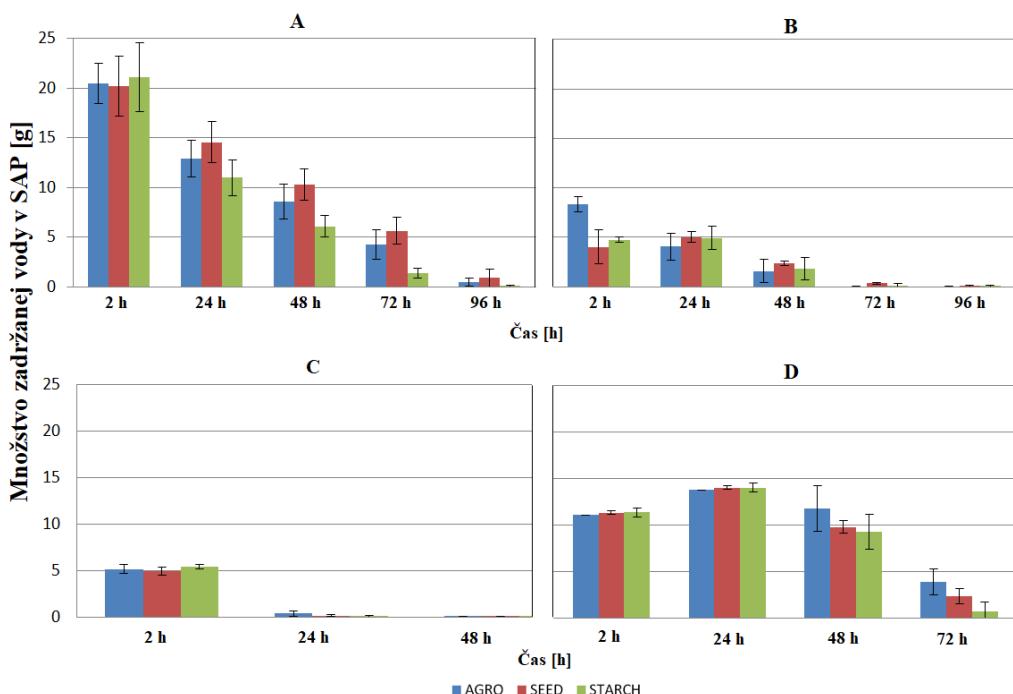
vody v porovnaní s kolónou obsahujúcu č. pôdu resp. vzorka s obsahom SAP s príďavkom NPK hnojiva. Po 11 dňoch sušenia nastala zmena v tomto trende až do ukončenia experimentu bolo najvyššie množstvo zadržiavanej vody zaznamenané pri kontrolnej vzorke.

Podobné správanie sa pozorovalo pri kolóne so vzorkou pôdy z bez orbovej technológie, ktorá taktiež vykazovala zvýšený obsah vody v pôde pre pôdnú kolónu s aplikovaným SAP. Zvýšený trend retenčnej schopnosti pretrvával 7 dní. Po 7 dňoch sa rozdiely v obsahu vody medzi jednotlivými pôdnymi kolónami takmer vyrovnali.

V prípade zvyšných kolón so vzorkami pôdy z minimalizačnej a mulčovacej technológie prevažoval zvýšený obsah vody v rámci kontrolných pôd po celú dobu procesu sušenia. Nepodarilo sa tu preukázať zvýšenú zádržnú schopnosť SAP v procese výparu.

7.2.5 Stanovenie absorpčných a retenčných charakteristík superabsorpčných polymérov

Z výsledkov predošlých kolónových experimentov, v ktorých sa nepodarilo jednoznačne zhodnotiť retenčné charakteristiky aplikovaného SAP boli realizované nasledovné absorpčné modelové experimenty. Testovala sa absorpčná schopnosť nového SAP-ov ale aj starších typov SAP (AGRO a SEED) v deionizovanej vode, roztokoch NPK hnojív a v pôdnom výluhu, čo nám poskytlo informáciu o vplyve pridávaných hnojív resp. prirozených chemických vlastností pôdy.



Obr. 36 Absorpčné a retenčné schopnosti testovaných SAP (AGRO, SEED, STARCH) v modelových roztokoch: A – destilovaná voda; B – roztok hnojiva s nízkou koncentráciou; C – roztok hnojiva s vysokou koncentráciou; D – roztok pôdných výluhov.

Experiment s deionizovanou vodou (Obr. 36) (A) vykazoval najväčšiu napučiavaciu schopnosť pri všetkých troch hydrogéloch. Po 2 hodinách vykazoval najväčšiu absorpčnú schopnosť SAP STARCH, ktorý absorboval celkovo 21,1 g množstva deionizovanej vody. Medzi jednotlivými SAP sa nezaznamenali výrazné absorpčné rozdiely (AGRO - 20,4 g a SEED - 20,2 g deionizovanej vody). Na hydrogéloch boli ďalej vykonané niekoľko dňové testy retenčných vlastností a zadržiavania vody v procese prirodzenej evaporácie. Najlepšie charakteristiky vykazoval SAP SEED, ktorý po 24 h sušenia uvoľnilo najmenšie množstvo deionizovanej vody (5,6 g) a tento trend si zachoval po celú dobu trvania experimentu.. Experiment bol po 4 dňoch ukončený, kde sa u ostatných SAP-ov nezaznamenalo žiadne množstvo zadržanej deionizovanej vody. Napriek tomu, že SAP STARCH vykazoval najväčšiu absorpciu vody po 2 h (21,07 g), tak v nasledujúcich dňoch vykazoval najväčšiu stratu množstva zadržanej vody (24 h bol úbytok o 47,91 %; 48 h 71,29 %; 72 h 93,46 % oproti počiatočnému zachyteniu vody). Po 72 h sa v ňom gravimetricky nepodarilo zaznamenať prítomnosť zadržanej vody.

V druhom experimente (Obr. 36 B) bola nahradená deionizovaná voda roztokom s nízkym obsahom NPK hnojiva (Tab. 3). SAP-y vykazovali nižšiu účinnosť absorpcie roztoku ako pri prvom experimente s deionizovanou vodou (**Obr. 36 A**). V prípade SAP AGRO sa zachytilo o 12,08 g menej vody ako pri deionizovanej vode, čo zodpovedá poklesu o (59,15 %), pri SAP SEED kleslo množstvo zadržiavanej vody o 16,16 g (pokles o 80,09 %) a pri novom SAP STARCH o 16,3 g (pokles o 77,37 %). Napriek tomu, že SAP AGRO vykazoval najväčšiu absorpciu po 2 h (8,34 g) množstva roztoku hnojiva, tak v nasledujúcich dňoch vykazoval najväčšiu hmotnostný úbytok (24 h - 51,11 %; 48 h - 81 % oproti počiatočnému zachyteniu vody). Po 48 h sa nepodarilo zaznamenať prítomnosť množstva zadržanej vody. Mierny nárast hmotnosti v prípade SEED a STARCH po 24 h bol pravdepodobne spôsobený naviazaním vzdušnej vlhkosti.

V tretej skupine experimentov (**Obr. 36 C**) sa sledoval vplyv vysoko koncentrovaného roztoku NPK hnojiva na funkčnosť SAP. V prípade SAP AGRO sa zachytilo o 15,28 g menej roztoku ako pri deionizovanej vode, čo zodpovedá rozdiel 74,83 %, SAP SEED o 15,26 g čo zodpovedá rozdielu 75,65 % a SAP STARCH o 15,68 g čo zodpovedá rozdielu 74,42 %. Absorpčná schopnosť SAP-ov pri nízkej a vysokej koncentrácií roztokov NPK hnojiva

nepredstavovala signifikantné rozdiely v počiatočnej fáze absorpcie roztoku po 2 h. Výrazné rozdiely z pohľadu zadržania vysoko koncentrovaného roztoku NPK hnojiva boli pozorované už po 24 h, kedy sa u všetkých 3 typov SAP-ov nezaznamenala prítomnosť zadržaného roztoku.

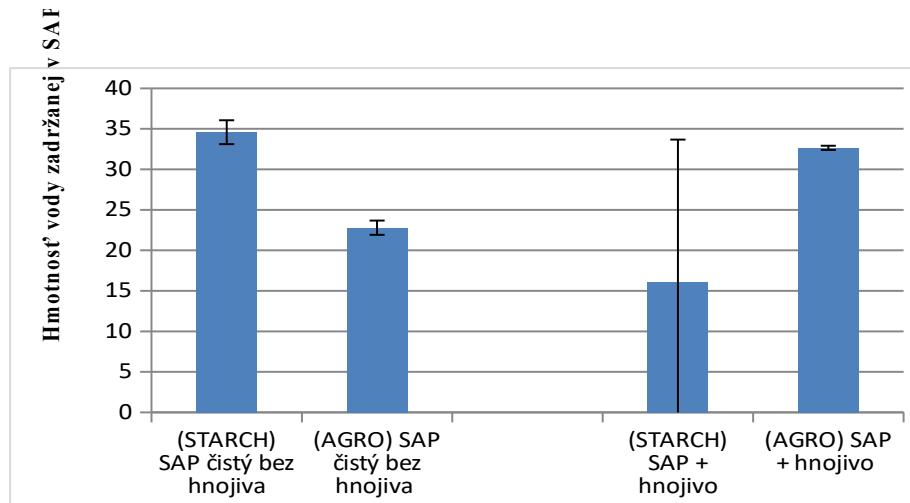
Pri poslednom experimente (**Obr. 36 D**) boli nahradené modelové roztoky NPK hnojív pôdnym výluhom. V prípade SAP AGRO sa zachytilo o 9,33 g menej roztoku ako pri deionizovanej vode čo zodpovedá rozdielu 45,67 %, SAP SEED o 8,83 g čo zodpovedá rozdielu 43,77 %, SAP STARCH o 9,7 g čo zodpovedá rozdielu 46,04 %. Po 2 h nasiakavosti sa dosiahli takmer identické množstvá naviazaného pôdneho výluhu (AGRO – 11,09 g, SEED – 11,34 g, STARCH – 11,37 g). Po 48 h sušenia SAP AGRO stále vykazoval zvýšené hodnoty o 0,68 g ako po 2 h nasiakavosti. Po 72 h mal najvyššiu retenčnú schopnosť SAP AGRO 3,88 g. Najmenšiu retenčnú kapacitu počas sušenia mal SAP STARCH 0,69 g. Nárast hmotností po 24 h mohol pravdepodobne byť spôsobený naviazaním vzdušnej vlhkosti z okolitého prostredia. Nakol'ko sa podobný ja zvýšenia obsahu vody v SAP-och zaznamenal aj pri testovaní nasiakavosti nízko koncentrovaného roztoku NPK hnojiva dá sa predpokladať, že ak neboli SAP opäťovne vystavený vonkajšiemu pôsobeniu zvýšeného obsahu NPK nastala čiastočná obnova jeho absorpčných vlastností, čím došlo k naviazaniu vzdušnej vlhkosti do týchto SAP-ov. V prípade deionizovanej vody neboli tento efekt pozorovaný nakol'ko sa jedná o chemicky čisté prostredie od začiatku experimentu. A v prípade roztoku hnojiva s vysokou koncentráciou sa taktiež nepozoroval, nakol'ko tu predpokladáme trvalé poškodenie funkčných vlastností SAP. Tieto zistenia môžu poukazovať na dôležitosť správneho spôsobu aplikácie týchto SAP-ov do pôdy, kde je potrebné zabezpečiť homogénnu distribúciu jednotlivých polymérov v rámci pôdy a zamäďať bodovej aplikácií SAP-u s hnojivom.

Zistené absorpčné vlastnosti jednotlivých SAP-ov boli po prepočítaní na množstvo 1 g (množstvo aplikované SAP-u do pôdy resp. piesku v nasledovných experimentoch) použité pre vzájomné porovnanie s nižšie popísanými kolónovými testami.

7.2.6 Vyhodnotenie retenčných vlastností rôznych SAP v modelovej vzorke pôdy

Na základe výsledkov predošlých nasiakavacích testov v prítomnosti rôznych modelových roztokov boli navrhnuté experimenty s aplikovaním SAP (AGRO a STARCH) do pripravenej modelovej pôdy s cieľom vzájomne porovnať ich retenčné vlastnosti v pôdnich podmienkach.

V prípade týchto kolónových experimentov sme sa rozhodli použiť menšiu vrstvu pôdy (20 cm oproti 40 cm) s cieľom urýchlenia doby trvania experimentu. Množstvo aplikovaného SAP a prípadne hnojív bolo totožné ako pri prvých kolónových experimentoch a vzorové dávkovanie jednej sady kolón je uvedené v (Tab. 2). Celkovo boli pôdne kolóny premývané 800 ml destilovanej vody.



Obr. 37 Absorpčná schopnosť SAP (STARCH a AGRO) v modelovej pôde.

V rámci modelových kolón kde bola čistá vzorka pôdy (920 g) sa celkovo zadržalo $314,4 \pm 9,1$ g vody, čo predstavuje $0,34 \text{ g}_{\text{voda}}/\text{g}_{\text{pôda}}$. Následne bol tento údaj použitý pre výpočet množstva vody v SAP-e pri ďalších kolónových experimentoch podľa rovnice (3):

$$m_{\text{SAP}} = m_v - m_s - m_{\text{prirodz.}} \quad (3)$$

m_{SAP} – hmotnosť prirodzenej vodozádržnej kapacity SAP

m_v – hmotnosť vlhkej pôdy

m_s – hmotnosť suchej pôdy

$m_{\text{prirodz.}}$ – hmotnosť prirodzenej vodozádržnej kapacity pôdy

V experimente sme porovnávali retenčnú schopnosť SAP-ov (AGRO a STARCH) aplikovaných v celom pôdnom stĺpci (20 cm). SAP STARCH bol schopný absorbovať $34,85 \pm 1,5$ g vody. Oproti modelovým podmienkam pri testovaní absorpčných vlastností SAP-u v deionizovanej vode to je 9,6-násobný pokles absorpčnej kapacity SAPU STARCH, resp. 5,3-násobný pokles v pôdnom výluhu.

SAP AGRO v pôdnom stĺpci zadržal $22,8 \pm 0,89$ g vody. Oproti experimentom, ktoré sme realizovali pri modelových podmienkach v deionizovanej vode to je 14,3-násobný pokles absorpčnej kapacity SAP-u AGRO. V porovnaní s modelovými podmienkami realizovanými v pôdnom výluhu to predstavovalo 7,8-násobný pokles .

V prípade testu s pridaným NPK hnojivom SAP STARCH naviazal $16,12 \pm 17,5$ g vody. Z dôvodu vysokej hodnoty štandardnej odchýlky nie je možné spoľahlivo vyhodnotiť tento konkrétny experiment. Veľké rozdiely v prípade paralelnych stanovení môžu naznačovať výrazné kolísanie absorpčných vlastností a celkovej stability SAP v dôsledku zvýšeného množstva hnojiva aplikovaného do pôdy. Podobný pokles funkčnosti sa zaznamenal pri modelových testoch hodnotenia absorpčných vlastností SAP v roztokoch NPK hnojív (Obr. 36 B a C).

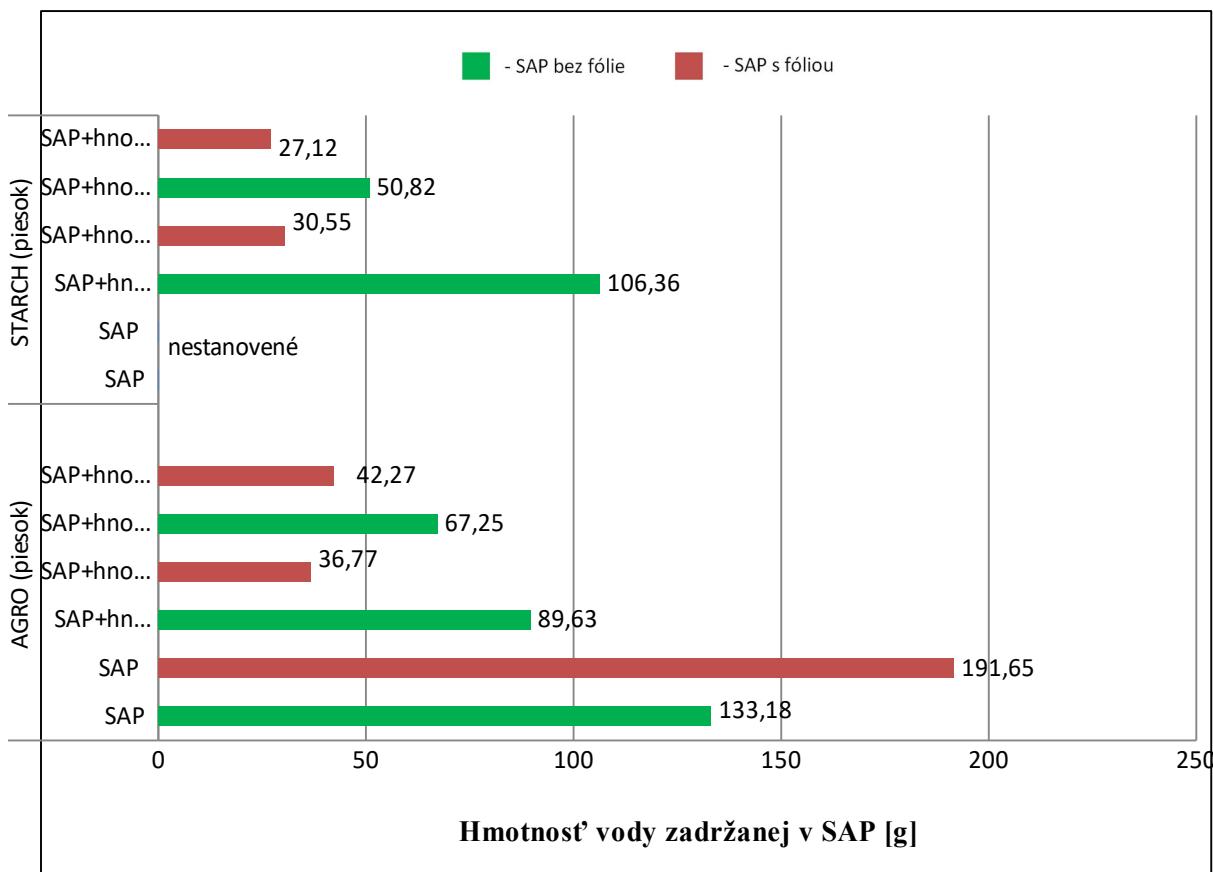
SAP AGRO bol schopný v testovanej pôde s príďavkom NPK hnojiva zadržať $32,65 \pm 0,26$ g vody. V porovnaní s modelovými absorpčnými testami v celulózových vrecúškach v prítomnosti deionizovanej vody vykazoval 10-násobný pokles účinnosti. V prípade modelových podmienok v nízko koncentrovanom roztoku hnojiva sa zaznamenal 4,08-násobný pokles a 2,5-násobný pokles v porovnaní s modelovými podmienkami v roztoku hnojiva s vysokou koncentráciou.

V prípade všetkých pôdnych kolón sa zaznamenalo výrazne nižšie množstvo zadržanej vody v SAP v porovnaní s modelovými testami nasiakavosti. Napriek tomuto výraznému poklesu absorpčných vlastností bolo množstvo zadržanej vody výrazne vyššie ako je prirodzená vodozádržná schopnosť pôdy v rozmedzí (47 až 101-krát vyššie).

Nakoľko sa v rámci experimentov zaznamenali odlišné hodnoty v rámci testov v deionizovanej vode a v pôdnom výluhu, ktorý bol získaný z rovnakej vzorky pôdy sa dá predpokladať ich veľmi totožné chemické zloženie. Preto je možné usudzovať vplyv samotnej štruktúrovitosti pôdy na funkčnosť SAP. Za účelom preverenia možného vplyvu štruktúrnosti a mechanických vlastností pôdnych agregátov boli realizované analogické kolónové experimenty, kde bola pôdna vzorka nahradená chemicky čistým pieskom.

7.2.7 Vyhodnotenie retenčných vlastností rôznych SAP v modelovej vzorke piesku

Na základe výsledkov predoších modelových testov vo vzorke pôdy boli navrhnuté experimenty s aplikovaním SAP (AGRO a STARCH) do modelových pieskových kolón s cieľom vzájomne porovnať ich retenčné vlastnosti v chemicky čistých podmienkach pri zachovaní mechanických a štruktúrnych vlastností vonkajšieho prostredia. V prípade týchto kolónových experimentov bola použitá 20 cm vrstva piesku (2×460 g). Pri experimentoch s aplikáciou SAP-u, kde bol do pieskovej kolóny zavedený príslušný SAP (AGRO alebo STARCH) v množstve totožnom ako pri predoších kolónových experimentoch. Podľa zostavenia experimentu boli pieskové kolóny premývané 800 ml príslušného roztoku (destilovaná voda, roztok hnojiva, pôdný výluh).



Obr. 38 Retenčná schopnosť SAP (AGRO a STARCH) pri simulácii kolónových testov v chemicky čistom piesku.

V rámci modelových kolón, kde bola čistá vzorka piesku (920 g) sa celkovo zadržalo $250 \pm 6,8$ g vody, čo predstavuje $0,27 \text{ g}_{\text{voda}}/\text{g}_{\text{piesok}}$. Následne bol tento údaj použitý pre výpočet množstva vody absorbovaného v SAP-e, ktorý vychádza z rovnice (3).

V experimente sme testovali retenčnú schopnosť SAP (AGRO a STARCH) pridaných rovnomerne a zamiešaných v celej vzorke piesku (20 cm).

V prvom teste, pri ktorom nebola použitá zadržiavacia fólia bol SAP AGRO schopný zachytiť 133,18 g vody. Oproti modelovým nasiakavacím experimentom v celulózových vrecúškach v deionizovanej vode to predstavovalo 2,4-násobný pokles účinnosti, resp. 1,33-násobný pokles kapacity v porovnaní s modelovými podmienkami v pôdnom výluhu.

Pri rovnakom teste, ale s použitím fólie zamedzujúcej okamžitý únik vody z pieskovej kolóny sa zaznamenala vyššia retenčná schopnosť, SAP-u AGRO ktorý v tomto prípade zachytil až 191,65 g vody. Oproti paralelnemu zostaveniu bez použitia zadržiavacej fólie to predstavovalo množstvo vyššie o 58,47 g. čo predstavuje menší pokles (1,7-krát) ako ako v prípade zadržania vody v modelových vrecúškových testoch s deionizovanou vodou, resp. 0,92-násobný pokles oproti modelovým podmienkami v pôdnom výluhu.

Pri aplikovaní SAP STARCH do modelových pieskových kolón a následnom premývaní destilovanou vodou sa nepodarilo stanoviť vodozádržnú kapacitu SAP. Po aplikovaní prvého prídavku destilovanej vody sa vytvorila nepriepustná zmes SAP-u s pieskom v povrchovej vrstve kolóny. Pri aplikovaní zvyšného objemu destilovanej vody nedochádzalo k jej ďalšej infiltrácii do piesku ani po 24 h a prídavok vody bol zadržiavaný stále na povrchu pieskovej kolóny. Tento efekt sa pozoroval v prípade oboch paralelnych stanovení. Test sme sa snažili realizovať aj mimo testovacej kolóny, ale nepodarilo sa nám spoľahlivo stanoviť množstvo zadržanej vody v SAP STARCH. Dokonca aj po sušení tejto vzorky piesku bola stále prítomná výrazná súdržnosť celej zmesi (Obr. 39). Vytvorenie tejto súdržnej vrstvy pripisujeme k práškovej povahе SAP-u.

Druhý test bol zameraný na hodnotenie retenčnej účinnosti SAP AGRO_{BF} po prídavku roztoku NPK hnojiva. Pri modelovom teste bola zaznamenaná jeho retenčná schopnosť na úrovni 89,63 g vody. V porovnaní s modelovými absorpčnými testami realizovanými v celulózových vreckách s deionizovanou vodou to predstavuje 3,6-násobný pokles účinnosti resp. 1,4-násobný pokles v porovnaní s modelovými absorpčnými testami v roztoku hnojiva s nízkou koncentráciou.

Pri použití zadržiavacej fólie so SAP AGRO aplikovaného do pieskovej kolóny došlo k absorbovaniu celkovo 36,77 g vody. Táto hodnota predstavuje celkovo 8,8-násobný pokles účinnosti oproti modelovým absorpčným testom realizovaných v celulózových vreckách v deionizovanej vode resp. 3,6-násobný pokles v porovnaní s modelovými podmienkami v roztoku hnojiva s nízkou koncentráciou.



Obr. 39 Vytvorenie súdržnej vrstvy vysušenej vzorky piesku so SAP STARCH.

V paralelnom teste bez použitia zadržiavacej fólie (SAP AGRO s deionizovanou vodou a SAP AGRO s roztokom hnojiva) sa zaznamenal

Pozoroval sa pokles o 154,88 g vody v zachytenej v pieskovej kolóne so SAP AGRO_F a prídavkom hnojiva oproti hodnotám stanoveným pri kolóne s čistou vzorkou SAP AGRO_F (191,65 g). Tento pokles bol výraznejší než pri experimentoch pri zadržaní vody v pieskovej kolóne bez fólie, kde sa zaznamenal rozdiel na úrovni 43,55 g.

Na základe tohto výrazného poklesu sa dá predpokladať, že dlhodobé vystavenie SAP-u v roztoku hnojiva má výrazne negatívny vplyv na vodozádržnú schopnosť, ktorý je výrazne väčší ako pri prietkových podmienkach. Podobný jav sa pozoroval aj pri pieskových kolónach v ktorých bol aplikovaný SAP STARCH, kde nastalo takisto výrazné zníženie celkového množstva zadržiavanej vody v SAP-e po jeho dlhodobom vystavení (2 h) roztoku hnojiva, kde v prietkovom zostavení tohto experimentu sa zachytilo o 248 % viacej vody.

Podobné správanie vykazovali aj experimenty pri oboch SAP-och aplikovaných do pieskových kolón a pri ich vystavení roztoku pôdneho výluhu, kde pri dlhodobom zadržiavaní pôdneho výluhu v piesku sa výrazne znížili absorpčné vlastnosti SAP-u v porovnaní s prietkovým usporiadaním tohto experimentu (SAP STARCH – 46,11 % pokles) (SAP AGRO – 37,15 % pokles). Tento pokles sa dá opäťovne pripísat' negatívnomu vplyvu dlhodobého pôsobenia (2 h) pôdneho výluhu obsahujúceho zvýšený obsah NPK iónov (Tab. 6) na absorpčné charakteristiky uvedených SAP-ov.

Celkovo nižšie stanovené hodnoty vrámci všetkých experimentov v porovnaní s modelovými absorpčnými experimentami, ktoré sa realizovali v modelovo pripravených roztokoch sa dá preukázať vplyv nie len chemických faktorov, ale aj mechanických parametrov vonkajšieho prostredia na absorpčné a retenčné vlastnosti SAP-ov.

8 Záver

V rámci teoretickej časti sme sa zamerali na popis rôznych agrotechnologických prístupov, kde boli uvedené pozitívne a negatívne vplyvy na kvalitu pôdy. V rámci prehľadu sú ďalej spomenuté tradičné spôsoby, ktorými sa zadržiava voda v pôde so zameraním na využitie SAP ako modernej technológie ako vhodného adaptačného mechanizmu v boji proti klimatickej zmene. V rámci prehľadu sú uvedené rôzne klasifikácie týchto polymérnych materiálov a je tu detailne rozobraný možný vplyv chemických a fyzikálnych faktorov na ich funkčnosť (pH, prítomnosť ťažkých kovov, vodivosť)

V rámci experimentálnej časti diplomovej práce sa vykonávali testy na pôdach z rôznych agrotechnických prístupov. Pri chemických rozboroch týchto pôd sa nezaznamenali výrazné vzájomné rozdiely v obsahu výskytu kovov (Fe, Mg, Mn, Co, Cu a Zn) a makro-zložiek (Ca, K, K₂O, P, P₂O₅, S_{celk.} a TOC). Pôdna reakcia sledovaná v rámci celej sledovanej lokality sa pohybovala v neutrálnom rozsahu pH v rozmedzí (od 7,10 do 7,20). Celkové hodnoty salinity (0,09 – 0,13 g/l) a vodivosti (0,067 – 0,096 mS/cm) pôdy boli na nízkej úrovni s miernym nárastom v rámci 3 segmentu.

V rámci jednotlivých pôdných výluhov sa zaznamenali najvyššie hodnoty obsahu dusíka NO₃ (784 mg/l), NO₂ (31 mg/l) a NH₃ (1,1 mg/l) v prípade minimalizačného spôsobu obrábania. Zvýšené množstvo uvoľňovania K (9 mg/l) z pôdy bolo zaznamenané pri konvenčnej pôde a najvyššie hodnoty PO₄ (10,5 mg/l) boli zaznamenané pri mulčovacej technológií obrábania.

Na základe sledovania vlhkosti pôdy na jednotlivých testovacích poličkach sme zistili, že najvyšší priemerný obsah vody bezprostredne 24 h po dažďových zrážkach vykazovala pôda obhospodarovaná konvenčnou technológiou $17,4 \pm 0,91$ hmot.%, pričom obsah vody klesal v nasledovnom poradí (bez. $16,8 \pm 0,96$ hmot.%) > (mulč. $16,7 \pm 0,6$ hmot.%) > (mini. $16,3 \pm 0,52$ hmot.%) pre jednotlivé technológie. Najlepšie vlastnosti zadržiavania vody vykazovala po 7 dňoch bez zrážkového obdobia pôda obhospodarovaná bez orbovou technológiou $14,3 \pm 1,42$ hmot.%. Pričom obsah vody pri nasledovných technológiách klesal v nasledovnom poradí (mulč. $14 \pm 1,5$ hmot.%) > (konv. $13,8 \pm 1$ hmot.%) > (mini. $13,3 \pm 2,5$ hmot.%). Najnižšie dlhodobé retenčné vlastnosti vykazovala pôda obhospodarovaná minimalizačnou technológiou v rámci celého pôdneho stĺpca a v rámci povrchových horizontov sa jednalo o pôdu obhospodarovanou konvenčnou technológiou. Na základe tejto skutočnosti je možné realizovať odporúčanie aplikácie SAP primárne na tejto lokalite.

Jednotlivé SAP boli podrobene SEM-EDX analýze, ktorou sa stanovilo ich chemické zloženie a pomer zastúpenia jednotlivých prvkov. Na základe toho sa dajú predpokladať ich rôzne vlastnosti z pohľadu zadržiavania vody a možných externých vplyvov na tieto charakteristiky.

V rámci hodnotenia nového typu SAP STARCH v jednotlivých vzorkách rôzne agrotechnicky obhospodarovaných pôd sa nám podarilo preukázať pozitívny vplyv z pohľadu zadržiavania vody v pôde pri vzorkách konvenčnej (710 g) a bez orbovej (715 g) technológie, kde došlo k nárastu o (48 g) resp. (34 g) voči kontrolným vzorkám čistých pôd. Pri týchto pôdach sa zároveň pozoroval pokles retenčných vlastností aplikovaného SAP-u za súčasného aplikovania NPK hnojív do pôdy kedy došlo k poklesu množstva zadržiavanej vody SAP-om o 52 g (konvenčnej) resp. 38 g (bez orbovej) technológií voči vzorkám pôd so SAP-om. Pri ostatných agrotechnických prístupoch sa nepotvrdil pozitívny vplyv SAP. Z pohľadu dlhodobého zadržiavania vody v pôde sa pozorovalo mierne zvýšené množstvo jej obsahu vo vzorkách pôd konvenčnej a bez orbovej technológie počas prvých 7 dní resp. 10 dní a po tomto období došlo k poklesu množstva zadržanej vody v týchto pôdach so SAP v porovnaní s kontrolnými vzorkami čistých pôd. Pri vzorkách pôd z minimalizačnej a mulčovacej technológie sa nezaznamenal zvýšený obsah vody v pôdach s aplikovaným SAP-om.

Z pohľadu hodnotenia absorpčných vlastností nového SAP STARCH v porovnaní so staršími komerčne dostupnými SAP od rovnakého výrobcu boli realizované modelové experimenty v modelových roztokoch, napriek malým rozdielom absorpčnej schopnosti.

Absorpčná schopnosť jednotlivých SAP v deionizovanej vode vykazovala minimálne rozdiely (rozsah od 20,1 g do 21 g). V prítomnosti roztokov hnojív resp. pôdneho výluhu tieto vlastnosti výrazne klesli od rozsahu (4 g) do (11,4 g). V následných dňoch bola sledovaná aj retenčná schopnosť SAP pričom sa zaznamenali výrazné rozdiely v ich retenčných vlastnostiach. Pri SAP umiestnených v roztku NPK s nízkou koncentráciou, pôdnym výluhu resp. v deionizovanej vode bol zaznamenaný postupný niekoľko dňových pokles zadržiavanej vody oproti vzorke SAP-ov s vysoko-koncentrovaného roztku hnojiva, kde sa už po 24 h absorpčnom teste nepodarilo stanoviť zadržané množstvo vody. Pravdepodobnou príčinou bola strata retenčných charakteristík v dôsledku pôsobenia vysokých koncentrácií NPK hnojiva prítomných v roztku.

Pre porovnanie použitia nového typu SAP STARCH so starším komerčne dostupným SAP AGRO boli realizované experimenty s ich aplikáciou do modelovej vzorky pôdy. V prípade všetkých pôdnych kolón sa zaznamenalo výrazne nižšie množstvo zadržanej vody v SAP v porovnaní s modelovými testami nasiakavosti, kde sa zaznamenal pokles 9,6-krát

a viac. Napriek tomuto výraznému poklesu absorpčných vlastností bolo množstvo zadržanej vody výrazne vyššie ako je prirodzená vodozádržná schopnosť rovnakého množstva pôdy v rozmedzí (47 až 101-krát vyššie).

Porovnaním výsledkov získaných z pôdnych kolón a pieskových modelových kolón sa nám podarilo jasne poukázať výrazný vplyv nie len prítomných chemických súčastí pôdy resp. pridaných chemických hnojív, ale rozhodujúcu úlohu pri vodozádržnej schopnosti SAP-ov majú aj mechanické a štruktúrne vlastnosti substrátu do ktorého je aplikovaný.

V rámci experimentálnej časti diplomovej práce sme naznačili ktoré chemické a fyzikálne vlastnosti môžu vplývať na absorpčné a retenčné charakteristiky nového typu SAP STARCH ale aj pôvodných typov SAP. Pre detailnejšie štúdium vplyvu týchto parametrov na retenčné charakteristiky resp. ich použite ako ochranného prostriedku voči negatívnym dopadom klimatickej zmeny sa odporúča realizovať ďalší výskum v tejto oblasti.

Zoznam použitej literatúry

ALBALASMEH, A.A., MOHAWESH, O., GHARAIBEH, M.A., ALGHAMDI, A.G., ALAJLOUNI, M.A., ALQUDAH, A.M., 2022. Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21, 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>

ALI, M.A., FARAG, S.G., SILLANPÄÄ, M., AL-FARRAJ, S., EL-SAYED, M.E.A., 2023. Efficiency of Using Superabsorbent Polymers in Reducing Mineral Fertilizer Rates Applied in Autumn Royal Vineyards. *Horticulturae* 9, 451. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040451>

AzuragelTM. [online] Ecovia Renewables. Dostupné z:

<https://www.ecoviarenewables.com/azuragel>

BARROS, A.F.D., PIMENTEL, L.D., ARAUJO, E.F., MACEDO, L.R.D., MARTINEZ, H.E.P., BATISTA, V.A.P., PAIXÃO, M.Q.D., 2017. Super absorbent polymer application in seeds and planting furrow: it will be a new opportunity for rainfed agriculture. *SCA* 38, 1703. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4p1703>

BEHERA, S., MAHANWAR, P.A., 2020. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59, 341–356. <https://doi.org/10.1080/25740881.2019.1647239>

BRAUN, O., COQUERY, C., KIEFFER, J., BLONDEL, F., FAVERO, C., BESSET, C., MESNAGER, J., VOELKER, F., DELORME, C., MATIOSZEK, D., 2021. Spotlight on the Life Cycle of Acrylamide-Based Polymers Supporting Reductions in Environmental Footprint: Review and Recent Advances. *Molecules* 27, 42. <https://doi.org/10.3390/molecules27010042>

DISPAT, N. a kol. 2020. Synthesis of ZnO/SiO₂-modified starch-graft-polyacrylate superabsorbent polymer for agricultural application. In *Carbohydrate Polymers*. ISSN 0144-8617, 2020, roč. 249, 116862.

ĎURIAN, J. 2011. Systém obrábania pôdy (Bakalárska práca). Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov. [online]. Slovensko: Nitra, 2011. Dostupné z:

<http://crzp.uniag.sk/Prace/2011/D/D5CB64203EB648498B91C83F52C8150E.pdf>

CHANG, L., XU, L., LIU, Y., QIU, D., 2021. Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing* 94, 107021.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021>

CHELLAPPA, J., SAGAR, K.L., SEKARAN, U., KUMAR, S., SHARMA, P., 2021. Soil organic carbon, aggregate stability and biochemical activity under tilled and no-tilled agroecosystems. *Journal of Agriculture and Food Research* 4, 100139.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100139>

CHEN, J., WU, J., RAFFA, P., PICCHIONI, F., KONING, C.E., 2022. Superabsorbent Polymers: From long-established, microplastics generating systems, to sustainable, biodegradable and future proof alternatives. *Progress in Polymer Science* 125, 101475.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101475>

CHEN, L., REJESUS, R.M., AGLASAN, S., HAGEN, S., SALAS, W., 2023. The impact of no-till on agricultural land values in the UNITED STATES MIDWEST. *American J Agri Economics* 105, 760–783. <https://doi.org/10.1111/ajae.12338>

CHERLINKA, V., 2023. No-Till Farming: Benefits, Challenges, And Sustainable Effects [online]. Dostupné z: <https://eos.com/blog/no-till-farming/>

CRISTACHE, S.-E., VUȚĂ, M., MARIN, E., CIOACĂ, S.-I., VUȚĂ, M., 2018. Organic versus Conventional Farming—A Paradigm for the Sustainable Development of the European Countries. *Sustainability* 10, 4279. <https://doi.org/10.3390/su10114279>

DEHKORDI, D.K., 2016. The Effects of Superabsorbent Polymers on Soils and Plants.

DENIER, J., FAUCON, M.-P., DULAURENT, A.-M., GUIDET, J., KERVROËDAN, L., LAMERRE, J., Houben, D., 2022. Earthworm communities and microbial metabolic activity and diversity under conventional, feed and biogas cropping systems as affected by tillage practices. *Applied Soil Ecology* 169, 104232.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104232>

DINGLEY, C., CASS, P., ADHIKARI, B., DAVER, F., 2024. Application of superabsorbent natural polymers in agriculture. *Polymers from Renewable Resources* 15, 210–255.
<https://doi.org/10.1177/20412479231226166>

EARTHHOW. (2024). [online] Strip cropping: The benefits of green stripes, Earth How. Dostupné z: <https://earthhow.com/strip-cropping/> [cit.: 03 July 2024].

EKEBAFE, L.O., OGBEIFUN, D.E., OKIEIMEN, F.E., 2011. Polymer Applications in Agriculture 23.

EL-BELTAGI, H.S., BASIT, A., MOHAMED, H.I., ALI, I., ULLAH, S., KAMEL, E.A.R., SHALABY, T.A., RAMADAN, K.M.A., ALKHATEEB, A.A., GHAZZAWY, H.S., 2022.

England, N. (2024). [online] Minimum tillage soil cultivation, Flickr. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/naturalengland/6764890449>

Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture: A Review. Agronomy 12, 1881. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081881>

HLAVČOVÁ, K., DANÁČOVÁ, M., KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., VALENT, P., VÝLETA, R., 2019. Estimating the effectiveness of crop management on reducing flood risk and sediment transport on hilly agricultural land – A Myjava case study, Slovakia. CATENA 172, 678–690. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.027>

IQBAL, R., RAZA, M.A.S., VALIPOUR, M., SALEEM, M.F., ZAHEER, M.S., AHMAD, S., TOLEIKIENE, M., HAIDER, I., ASLAM, M.U., NAZAR, M.A., 2020. Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. Bull Natl Res Cent 44, 75. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3>

JAMAL, A., HUSSAIN, SADAM, HUSSAIN, SADDAM, MATLOOB, A., AWAN, T.H., IRSHAD, F., ALI, B., WARAIKH, E., 2022. Super absorbent polymer application under suboptimal environments: implications and challenges for marginal lands and abiotic stresses. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 46, 662–676. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3034>

JASA, P., 2015. Tillage and No-Till Systems [online]. CropWatch. Dostupné z: <https://cropwatch.unl.edu/tillage>.

JEDLICKA, M. (2021). [online] Kvalitní Orba Díky promyšlené konstrukci: Pluh Lemken Diamant 16 Jako úspěšný Pokračovatel Značky, www.agroportal24h.cz. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/kvalitni-orba-diky-promyslene-konstrukci-pluh-lemken-diamant-16-jako-uspesny-pokracovatel-znacky>

KIATKAMJORNWONG, S., 2007. Superabsorbent Polymers and Superabsorbent Polymer Composites. *ScienceAsia* 33(s1), 039. [https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33\(s1\).039](https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33(s1).039)

KOVÁČ L. and JAKUBOVÁ J. (2015). Možnosti využívania minimalizácie v podmienkach Slovenska. Výskumný ústav agroekológie Michalovce. [online]. Dostupné z: <https://www.agroporadenstvo.sk/nove-poznatky-poda?article=614>

LLANES, L., DUBESSAY, P., PIERRE, G., DELATTRE, C., MICHAUD, P., 2020. Biosourced Polysaccharide-Based Superabsorbents. *Polysaccharides* 1, 51–79. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides1010005>

MALIK, S., CHAUDHARY, K., MALIK, A., PUNIA, H., SEWHAG, M., BERKESIA, N., NAGORA, M., KALIA, S., MALIK, K., KUMAR, D., KUMAR, P., KAMBOJ, E., AHLAWAT, V., KUMAR, A., BOORA, K., 2022. Superabsorbent Polymers as a Soil Amendment for Increasing Agriculture Production with Reducing Water Losses under Water Stress Condition. *Polymers* 15, 161. <https://doi.org/10.3390/polym15010161>

MATHEW, R.P., FENG, Y., GITHINJI, L., ANKUMAH, R., BALKCOM, K.S., 2012. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities. *Applied and Environmental Soil Science* 2012, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2012/548620>

MATUSHEK, C., 2019. History of Super Absorbent Polymer Chemistry [online]. | M² Polymer Technologies Inc. Dostupné z: <https://m2polymer.com/2019/02/history-of-super-absorbent-polymer-chemistry>.

MIYAJIMA, T., MATSUBARA, Y., KOMATSU, H., MIYAMOTO, M., SUZUKI, K., 2020. Development of a superabsorbent polymer using iodine transfer polymerization. *Polym J* 52, 365–373. <https://doi.org/10.1038/s41428-019-0292-2>

MUBVUMBA, P., DELAUNE, P.B., 2023. Water quality effects of cover crop, grazing and tillage implementation in a long-term no-till wheat system. *Soil and Tillage Research* 225, 105547. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105547>

MUCHOVÁ, Z. (2024). Prehľad spoločných zariadení a opatrení a súvisiacej terminológie. Ústav krajinného inžinierstva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre.

NOVARA, A., SARNO, M., GRISTINA, L., 2021. No till soil organic carbon sequestration could be overestimated when slope effect is not considered. *Science of The Total Environment* 757, 143758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143758>

OLADOSU, Y., RAFII, M.Y., AROLU, F., CHUKWU, S.C., SALISU, M.A., FAGBOHUN, I.K., MUFTAUDEEN, T.K., SWARAY, S., HALIRU, B.S., 2022. Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A Review. *Horticulturae* 8, 605. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>

OSTRAND, M.S., DESUTTER, T.M., DAIGH, A.L.M., LIMB, R.F., STEELE, D.D., 2020. Superabsorbent polymer characteristics, properties, and applications. *Agrosystems Geosci & Env* 3, e20074. <https://doi.org/10.1002/agg2.20074>

PARVATHY, P.C., JYOTHI, A.N., JOHN, K.S., SREEKUMAR, J., 2014. Cassava Starch Based Superabsorbent Polymer as Soil Conditioner: Impact on Soil Physico-Chemical and Biological Properties and Plant Growth. *CLEAN Soil Air Water* 42, 1610–1617. <https://doi.org/10.1002/clen.201300143>

PÉREZ-ÁLVAREZ, L., RUIZ-RUBIO, L., LIZUNDIA, E., VILAS-VILELA, J.L., 2019. Polysaccharide-Based Superabsorbents: Synthesis, Properties, and Applications, in: Mondal, Md.I.H. (Ed.), Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels, Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series. Springer International Publishing, Cham, pp. 1393–1431. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77830-3_46

Tillage and Growing: The Value of No-Till Farming. [online] Croptracker. Dostupné z: <https://www.croptracker.com/blog/tillage-and-growing-the-value-of-no-till-farming.html>

POSPIŠIL, R. (2020). *Pôdoochranné technológie obrábania pôdy. Životné prostredie.* [online]. 54, 2, p. 83– 89. Dostupné z: http://publikacie.uke.sav.sk/sites/default/files/ZP_2020_02_83_89_pospisil.pdf.

QURESHI, M.A., NISHAT, N., JADOUN, S., ANSARI, M.Z., 2020. Polysaccharide based superabsorbent hydrogels and their methods of synthesis: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 1, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100014>

RATTAN, B., DHOBALE, K.V., SAHA, A., GARG, A., SAHOO, L., SREEDEEP, S., 2022. Influence of inorganic and organic fertilizers on the performance of water-absorbing polymer

amended soils from the perspective of sustainable water use efficiency. *Soil and Tillage Research* 223, 105449. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105449>

SAHA, A., SEKHARAN, S., MANNA, U., 2020. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research* 204, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>

SKINNER, C., GATTINGER, A., KRAUSS, M., KRAUSE, H.-M., MAYER, J., VAN DER HEIJDEN, M.G.A., MÄDER, P., 2019. The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Sci Rep* 9, 1702. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38207-w>

SOANE, B.D., BALL, B.C., ARVIDSSON, J., BASCH, G., MORENO, F., ROGER-ESTRADE, J., 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118, 66–87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>

SOTTOSANTI, K., n.d. Windbreak | Definition, Types, Uses, Benefits, & Facts | Britannica [online]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/windbreak>.

SPEARS, S., 2018. What is No-Till Farming? Regeneration International. URL <https://regenerationinternational.org/2018/06/24/no-till-farming/>.

STEWARD, R.E. (2023). *Agricultural technology - Secondary tillage*. [online] Encyclopedia Britannica. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/agricultural-technology/Secondary-tillage>.

SUGANYA, K., JERLIN, R. and RAJA, K. (2020). Effect of Super Absorbent Polymercoating on Seed Yield and Quality of Green Gram (*Vigna radiata L.*) Under Field Condition OPEN ACCESS. (2020). *SF Plant Science and Seed Research*, [online] 1. Dostupné z: <https://scienceforecasta.com/Articles/PSSR-V1-E1-1002.pdf>.

Super Absorbent Polymer. [online] Super Absorbent Polymer (SAP)-Henan SECCO Environmental Protection Technology Co., Ltd. Dostupné z: <https://www.hnsecco.com/Super-Absorbent-Polymer-SAP.html>

TALUKDAR, N., PAUL, A., SARMA, H.H., KAKOTI, M., 2023. Agronomic Practices for Soil Conservation. pp. 157–172.

TYPES OF DROUGHT. (2015). [online] UNL Water. Dostupné z:
<https://water.unl.edu/drought/typesofdrought>

Undercutting: Kills Resistant Weeds Without Disturbing Soil Residue [online]. Dostupné z:
<https://www.no-tillfarmer.com/articles/7720-undercutting-kills-resistant-weeds-without-disturbing-soil-residue>.

University, C.M. [online]. Super-absorbing polymer powder - gelfand center - carnegie Mellon University, Super-Absorbing Polymer Powder - Gelfand Center - Carnegie Mellon University. Dostupné z:

<https://www.cmu.edu/gelfand/lgc-educational-media/polymers/polymer-and-absorption/super-absorb-powder.html>

Water treatment solutions. [online] Lenntech Water treatment & purification. Dostupné z:
<https://www.lenntech.com/water-food-agriculture>

What are the examples of agroforestry? [online] Quora. Dostupné z:
<https://www.quora.com/What-are-the-examples-of-agroforestry>

XI, J., ZHANG, P., 2021. Application of Super Absorbent Polymer in the Research of Water-retaining and Slow-release Fertilizer. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 651, 042066.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/651/4/042066>

YANG, M., WU, J., GRAHAM, G.M., LIN, J., HUANG, M., 2021. Hotspots, Frontiers, and Emerging Trends of Superabsorbent Polymer Research: A Comprehensive Review. Front. Chem. 9, 688127. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.688127>

YANG, S., DONG, Y., SONG, X., WU, H., ZHAO, X., YANG, J., CHEN, S., SMITH, J., ZHANG, G.-L., 2022. Vertical distribution and influencing factors of deep soil organic carbon in a typical subtropical agricultural watershed. Agriculture, Ecosystems & Environment 339, 108141. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108141>

YANG, Y., LIANG, Z., ZHANG, R., ZHOU, S., YANG, H., CHEN, Y., ZHANG, J., YIN, H., YU, D., 2024. Research Advances in Superabsorbent Polymers. Polymers 16, 501. <https://doi.org/10.3390/polym16040501>

YANG, Y., ZHANG, S., WU, J., GAO, C., LU, D., TANG, D.W.S., 2022. Effect of long term application of super absorbent polymer on soil structure, soil enzyme activity, photosynthetic

characteristics, water and nitrogen use of winter wheat. *Front. Plant Sci.* 13, 998494.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.998494>

YU, H.-Y., PENG, W.-Y., MA, X., ZHANG, K.-L., 2011. [Effects of no-tillage on soil water content and physical properties of spring corn fields in semiarid region of northern China]. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 22, 99–104.

YU, J., SHI, J.G., MA, X., DANG, P.F., YAN, Y.L., MAMEDOV, A.I., SHAINBERG, I., LEVY, G.J., 2017. Superabsorbent Polymer Properties and Concentration Effects on Water Retention under Drying Conditions. *Soil Science Society of America Journal* 81, 889–901.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2016.07.0231>

ZÁVODSKÝ, L. (2020). *Orba a hlbkové kyprenie pôd. Rolnícke noviny – Internetový polnohospodársky portál*. [online] <https://rno.sk/>. Dostupné z: <https://rno.sk/orba-a-hlbkove-kyprenie-pod/>

ZHENG, H., MEI, P., WANG, W., YIN, Y., LI, H., ZHENG, M., OU, X., CUI, Z., 2023. Effects of super absorbent polymer on crop yield, water productivity and soil properties: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management* 282, 108290.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108290>

ZOHURIAAN, J., KABIRI, K., 2008. Superabsorbent Polymer Materials: A Review. *Iranian Polymer Journal (English Edition)* 17.