



Co-funded by
the European Union



2021-1-TR01-KA220-VET 000029507

**"Inovativní perspektiva odborného vzdělávání v oblasti
zemědělství pro přizpůsobení se změně klimatu"**

Projekt Smart AgroVETs

Školení o hospodaření s vodou v zemědělství

*Financováno Evropskou unií. Vyjádřené názory a stanoviska jsou však pouze
názory a stanoviska autora (autorů) a nemusí nutně odrážet názory a stanoviska
Evropské unie nebo Evropské výkonné agentury pro vzdělávání a kulturu
(EACEA).*

Evropská unie ani agentura EACEA za ně nemohou nést odpovědnost.



Co-funded by
the European Union



KAPITOLA 6

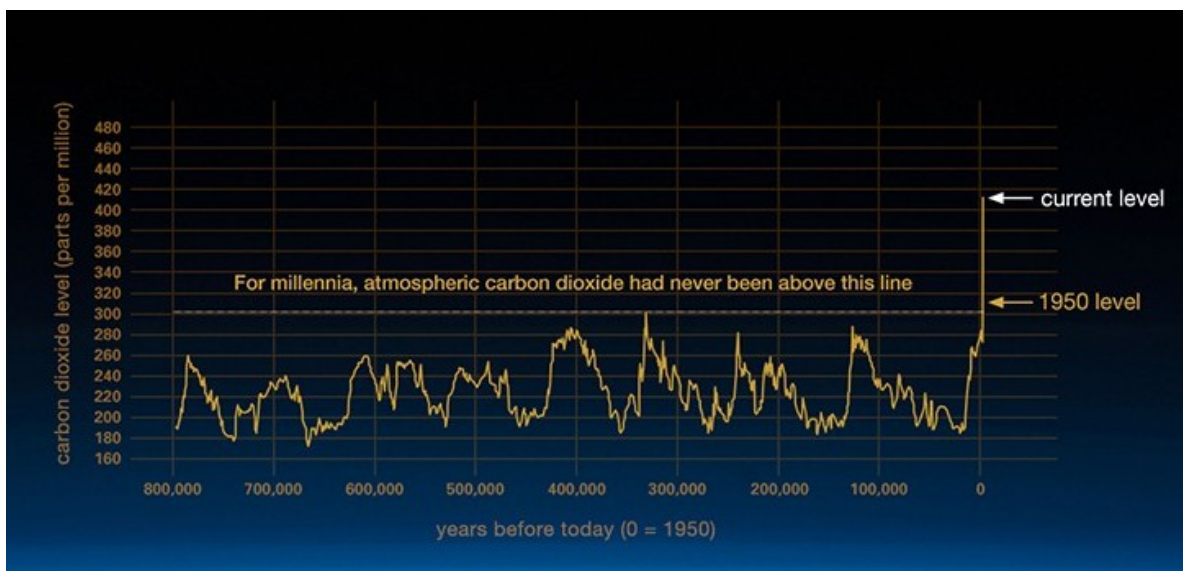
UDRŽITELNÁ ZEMĚDĚLSKÁ PRODUKCE V PODMÍNKÁCH ZMĚNY KLIMATU: KLIMATICKY INTELIGENTNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ (KAZ)

6.1 POČASÍ, KLIMA A ZMĚNA KLIMATU

Počasi označuje atmosférické podmínky, které se vyskytují lokálně v krátkých časových úsecích - od minut po hodiny nebo dny. Mezi známé příklady patří déšť, sníh, mraky, vítr, záplavy nebo bouřky. Podnebí naproti tomu označuje dlouhodobý regionální nebo dokonce globální průměr teplot, vlhkosti a srážek v průběhu ročních období, let nebo desetiletí.

Změna klimatu je dlouhodobá změna průměrných povětrnostních podmínek, které určují místní, regionální a globální klima na Zemi. Tyto změny mají širokou škálu pozorovaných účinků, které jsou synonymem tohoto pojmu.

Skleníkové plyny (GHG) ovlivňují klimatický systém Země tím, že oteplují atmosféru. Bez skleníkových plynů by se Země nacházela ve věčné době ledové, která by byla přibližně o 30 °C nižší než současná průměrná teplota světa. Tyto skleníkové plyny tvoří nad Zemí příkrývku, zadržují teplo, které přichází ze zemského povrchu. Toto teplo původně pochází ze Slunce v podobě viditelného světla a je ze zemského povrchu opětovně vyzařováno v podobě infračerveného záření. Jinak by toto teplo procházelo atmosférou a ztrácelo se do vesmíru. Skleníkové plyny, seřazené od nejlivnějších po nejméně vlivné, jsou oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), ozon (O₃), vodní pára.





Co-funded by
the European Union

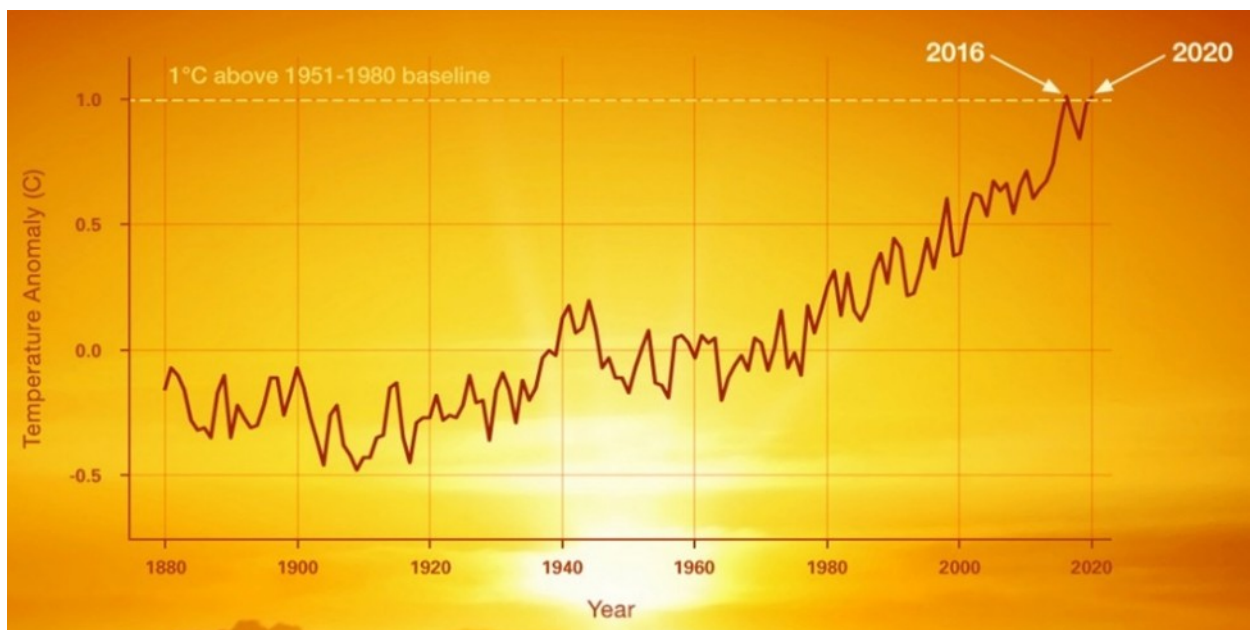


Obrázek 6.1. Neustálý nárůst oxidu uhličitého v posledních desetiletích (Zdroj: <https://climate.nasa.gov>).

Změny klimatu na Zemi pozorované od počátku 20. století jsou způsobeny především lidskou činností, zejména spalováním fosilních paliv, které zvyšuje množství skleníkových plynů v zemské atmosféře, jež zadržují teplo, a tím zvyšuje průměrnou teplotu zemského povrchu. Toto zvýšení teploty způsobené lidskou činností se běžně označuje jako globální oteplování. Ke změně klimatu mohou přispívat také přírodní procesy, včetně vnitřní proměnlivosti (např. cyklické oceánské vzorce jako El Niño, La Niña a pacifická dekadická oscilace) a vnějšího ovlivňování (např. sopečná činnost, změny ve výdeji energie Slunce, změny dráhy Země) (Zdroj: <https://climate.nasa.gov>).

Odhaduje se, že od předindustriálního období zvýšila lidská činnost průměrnou globální teplotu na Zemi přibližně o 1 stupeň Celsia, což je číslo, které se v současnosti zvyšuje 0,2 stupně Celsia za desetiletí. Je jednoznačné, že vlivem člověka došlo k oteplení atmosféry, oceánů i pevniny (zdroj: <https://climate.nasa.gov>).

Vědci využívají pozorování ze země, vzduchu a vesmíru spolu s teoretickými modely ke sledování a studiu minulých, současných a budoucích změn klimatu. Záznamy klimatických dat poskytují důkazy o klíčových ukazatelích klimatických změn, jako je globální nárůst teploty pevniny a oceánů, stoupající hladina moří, úbytek ledu na zemských pólech a v horských ledovcích, četnost a závažnost změn extrémního počasí, jako jsou hurikány, vlny veder, požáry, sucha, povodně a srážky, a změny oblačnosti a vegetačního pokryvu, abychom jmenovali alespoň některé z nich.





Co-funded by
the European Union



Obrázek 6.2: Změna globální povrchové teploty v porovnání s průměrnými teplotami v letech 1951-1980, přičemž rok 2020 se s rokem 2016 vyrovná jako nejteplejší v historii (Zdroj: Goddardův institut pro vesmírná studia NASA, <https://climate.nasa.gov>)

6.2. DOPAD ZMĚNY KLIMATU NA ZEMĚDĚLSKOU PRODUKCI

Snížení vhodnosti pro zemědělskou výrobu: V Turecku, s výjimkou nákladové linie u Černého moře, povede pokles jarních a letních srážek spolu s nárůstem teploty a evapotranspirace ke snížení výnosů/obdělávaných ploch letních plodin, jako je slunečnice, kukuřice, rýže, fazole, cizrna, čočka, cukrová řepa, bavlna, zelenina a ovoce, kromě vojtěšky a pastvin. V Turecku se předpokládá, že změna klimatu způsobí do roku 2050 pokles výnosů některých pro Turecko strategicky důležitých plodin, a to o 8,18 % u pšenice, 2,24 % u ječmene, 9,11 % u kukuřice, 4,53 % u bavlny a 12,89 % u slunečnice. Nedostatek pícnin, olejnin a luštěnin se bude se změnou klimatu zvyšovat a ve střednědobém a dlouhodobém horizontu se stane problematictější (Kadıoğlu et al. 2017; Dellal et al. 2011).

Vodní zdroje se sníží, zvýší se potřeba vody na zavlažování a stres z nedostatku vody: V důsledku změny klimatu by se množství potřebné vody na zavlažování mohlo oproti dnešku zdvojnásobit. Očekává se, že i při zavlažování dojde k poklesu výnosu letorostů, protože rostliny budou v období kvetení a plnění zrna vystaveny vyšším a extrémním teplotám. Vedle zvýšení teploty a snížení srážek bude mít na produkci plodin a biodiverzitu nepříznivý vliv prodloužení vegetačního období plodin, snížení počtu mrazových dnů, deficit půdní vody ve vegetačním období plodin, zvýšení četnosti a závažnosti povodní zejména na pobřeží Černého moře (Kadıoğlu et al. 2017; Konukcu 2019).

Škody způsobené sezónními změnami: Pokud jsou na začátku zimy nebo brzy na jaře vyšší teploty, než se očekávalo, způsobí to předčasné kvetení rostlin, zejména plodů, a ztrátu výnosu a kvality, kterou způsobí následné mrazy. Pokud se chladné zimy již nepodaří zvládnout, mohou některé choroby a škůdci přežít nebo se dokonce každý rok více a více množit a způsobovat epidemie. Se změnou teplotních a vlhkostních podmínek mohou nové choroby a škůdci způsobit škody v oblastech, které dříve nebyly pozorovány. I při dnešních poněkud nepříznivých povětrnostních podmínkách (vichřice, vlna veder, přivalové deště, mrazy) je vidět, že se snižuje výnos a kvalita zemědělské produkce, nadměrně rostou ceny a klesá vývoz. S měnícím se klimatem se objevují populace plevelů, které jsou konkurenceschopnější než



Co-funded by
the European Union



pěstovaných rostlin se zvýší, vznikne povinnost používat více chemických pesticidů v důsledku morfologických změn rostlin, což negativně ovlivní kvalitu produktu. To bude mít negativní vliv na zdraví lidí a životní prostředí (Amare 2016).

Zvýšené riziko v důsledku extrémních klimatických jevů: dlouhotrvající sucha prodlouží období požárů a zvýší riziko požárů. Neočekávané přívalové deště a zvýšená vlhkost způsobí pokles kvality produktů, někdy až jejich úplnou ztrátu, stagnaci zrna a erozi půdy. Zatímco extrémní teploty způsobí pokles kvality produktů a výnosů, krupobití může vést k velkým hospodářským ztrátám.

6.3. ZMĚNA KLIMATU, POTRAVINOVÁ BEZPEČNOST A VÝZVY

Aby bylo možné nasýtit rostoucí populaci, bude třeba v příštích třech desetiletích zvýšit roční světovou produkci potravin o 60 % (Bruinsma 2009). Dopady změny klimatu, mezi něž patří zvyšující se teploty, změna srážkových poměrů, závažnější a častější extrémní projevy počasí a úbytek ekosystémových služeb a biologické rozmanitosti, však budou podkopávat zemědělské výrobní systémy a potravinové systémy, zejména v zemědělských komunitách v rozvojových zemích, kde jsou chudoba, hlad a podvýživa nejrozšířenější (FAO 2013). Zemědělská odvětví, která zahrnují rostlinnou a živočišnou výrobu, lesnictví, rybolov a akvakulturu, jsou také významným přispěvatelem ke globálním emisím skleníkových plynů. Podle odhadů FAO se v roce 2010 emise ze sektoru zemědělství, lesnictví a jiného využití půdy (AFOLU) přímo podílely na celkových globálních emisích 22 % (FAO 2013). Zemědělství a potravinové systémy proto musí zlepšit a zajistit potravinovou bezpečnost, a aby toho dosáhly, musí se přizpůsobit změně klimatu a tlaku na přírodní zdroje a přispět ke zmírnění změny klimatu. Protože jsou tyto výzvy vzájemně propojené, je třeba je řešit současně

Zemědělská odvětví proto musí překonat tři vzájemně provázané výzvy (FAO 2010):

- udržitelně zvýšit produktivitu zemědělství, aby se uspokojila celosvětová poptávka;
- přizpůsobit se dopadům změny klimatu a
- přispívají ke snížení hromadění skleníkových plynů v atmosféře.

Aby se FAO s těmito výzvami vypořádala, vyvinula a propaguje koncepci klimaticky šetrného zemědělství (CSA).

6.4. DEFINICE KLIMATICKY INTELIGENTNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ (KAZ)



Co-funded by
the European Union



Klimaticky šetrné zemědělství (CSA), jak jej definovala a představila FAO na Haagské konferenci o zemědělství, zajišťování potravin a změně klimatu v roce 2010, přispívá k dosažení cílů udržitelného rozvoje. Integruje tři rozměry udržitelného rozvoje (ekonomický, sociální a environmentální) tím, že společně řeší problémy v oblasti potravinové bezpečnosti a klimatu. CSA je založena na 3 cílech nebo pilířích (FAO 2010):

- **Produktivita/udržitelnost/bezpečnost potravin:** Cílem CSA je udržitelně zvýšit produktivitu zemědělství a příjmy z plodin, hospodářských zvířat a ryb, aniž by to mělo negativní dopad na životní prostředí. To následně zvýší potravinovou a nutriční bezpečnost. Klíčovým pojmem souvisejícím se zvyšováním produktivity je udržitelná intenzifikace.
- **Adaptace:** Cílem CSA je snížit vystavení zemědělců krátkodobým rizikům a zároveň posílit jejich odolnost budováním jejich schopnosti přizpůsobit se a prosperovat tváří v tvář šokům a dlouhodobým stresům. Zvláštní pozornost je věnována ochraně ekosystémových služeb, které ekosystémy poskytují zemědělcům i ostatním. Tyto služby jsou zásadní pro zachování produktivity a naší schopnosti přizpůsobit se změnám klimatu.
- **Zmírnění:** Kdykoli je to možné, měla by CSA přispívat ke snižování a/nebo odstraňování emisí skleníkových plynů. To znamená, že snižujeme emise za každou vyprodukovanou kalorií nebo kilogram potravin, vlákniny a paliva. Že se vyhneme odlesňování v zemědělství. A že budeme hospodařit s půdou a stromy tak, abychom maximalizovali jejich potenciál působit jako úložiště uhlíku a pohlcovat CO₂ z atmosféry.

Klimaticky šetrné zemědělství je přístup k transformaci a přeorientování zemědělských produkčních systémů a potravinových hodnotových řetězců tak, aby podporovaly udržitelný rozvoj a mohly zajistit potravinovou bezpečnost v podmínkách změny klimatu. To neznamená, že každý postup uplatňovaný v každé lokalitě by měl přinést "trojí výhru", která přinese pozitivní výsledky pro každý z těchto tří cílů. Přístup k zemědělství šetrnému ke klimatu se spíše snaží omezit kompromisy a podpořit synergie tím, že tyto cíle zohledňuje při rozhodování zemědělských producentů, politiků a výzkumných pracovníků na místní, nižší než celostátní, národní a globální úrovni o krátkodobých a dlouhodobých strategiích řešení změny klimatu.

CSA vychází z přístupů udržitelného zemědělství a využívá principy ekosystémového a udržitelného hospodaření s půdou a vodou, analýzy krajiny a hodnocení zdrojů a energie v systémech zemědělské produkce a potravinových systémech. To je důležité zejména v rozvojových zemích, kde je růst zemědělství obecně nejvyšší prioritou.



Co-funded by
the European Union



6.5. UDRŽITELNÁ VÝROBA V RÁMCI SYSTÉMU CSA

Pro každý systém pěstování plodin existuje nespočet možností, jak se přizpůsobit změně klimatu a zmírnit její dopady, které mohou udržitelně zvýšit výnosy a minimalizovat škodlivé dopady produkce na životní prostředí. Pro každou zemědělskou domácnost se budou lišit v závislosti na jejích mechanismech zvládání a adaptace. Postupy hospodaření a technologie pro přizpůsobení se změně klimatu a zmírnění jejích dopadů zahrnují postupy s výslovným zaměřením na přizpůsobení a postupy s širším záběrem na snížení výrobních rizik a snížení emisí. Konkrétní přístupy k rostlinné výrobě, které jsou šetrné ke klimatu, zahrnují:

- **zvýšování rozmanitosti** a komplexnosti zemědělského ekosystému, což lze provádět mnoha způsoby (např. rozšiřováním rozmanitosti plodin nebo odrůd plodin), v mnoha prostorových měřítcích (např. na úrovni krajiny, v rámci zemědělských podniků a/nebo v rámci jedné plodiny) a v různých časových horizontech;
- **zlepšení udržitelného hospodaření s půdou a pozemky** (např. pečlivé usměrňování rozšiřování osevních ploch a pastvin, aby se zmírnila ztráta ukládání uhlíku, která je důsledkem změny využívání půdy);
- **zvýšování účinnosti využívání energie**; podpora udržitelné mechanizace (např. zvýšení dostupnosti vhodných strojů v kombinaci s vhodným agronomickým řízením s cílem snížit emise skleníkových plynů z různých zemědělských a zpracovatelských operací) a
- **vývoj jednoduchých a spolehlivých vědeckých nástrojů, které zemědělcům pomohou** při rozhodování na sezónní a dlouhodobé bázi.

6.6. STRATEGIE PŘIZPŮSOBENÍ SE DOPADŮM ZMĚNY KLIMATU

Přizpůsobení se změně klimatu vyžaduje přijetí správných opatření ke snížení negativních účinků změny klimatu (nebo využití pozitivních účinků) prostřednictvím vhodných úprav a změn. Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC, 2007) definuje adaptaci jako úpravy přírodních nebo lidských systémů v reakci na skutečné nebo předpokládané klimatické podněty nebo účinky, které snižují škody nebo využívají příznivé příležitosti. Odkazuje také na opatření, která přijímají lidé, země a společnosti, aby se přizpůsobili probíhajícím změnám klimatu. Adaptace má tři možné cíle: snížit vystavení riziku škod; rozvinout schopnost vyrovnat se s nevyhnutelnými škodami a využít nových příležitostí (Akinagbe a Irohibe 2014).



Co-funded by
the European Union



Opatření, která lze přijmout za účelem přizpůsobení se dopadům změny klimatu, lze vyjmenovat následovně.

- Výběr odrůd/druhů rostlin nebo jejich šlechtění
- Diverzifikace plodin
- Změna ve způsobu pěstování plodin
- Změna kalendáře výsadby
- Smíšené pěstování
- Zlepšení hospodaření s vodou a zavlažováním
- Přizpůsobení opatření na ochranu půdy, vody v půdě a energie

Výběr odrůd/druhů rostlin nebo šlechtění: Nejjednodušší způsob je výběr odrůd plodin jakéhokoli druhu odolných vůči nepříznivým klimatickým podmínkám (vlna veder, sucho), chorobám a škůdcům. Poléhání v důsledku nadměrných srážek, rez za vlhka a tepelný stres za vlny veder jsou běžným problémem snižujícím výnos a kvalitu pšenice v důsledku klimatických změn. Ze stávajících odrůd obilovin lze vybírat odrůdy s kratšími stonky (proti poléhání) a odolné vůči vlně veder a chorobám. Vybrané odolné nové odrůdy však nemusí vždy zaručit vysoké výnosy jako ty předchozí. Pokud jde o slunečnici, další strategickou plodinu, lze zvážit výběr odrůd odolných vůči suchu a vysokým teplotám nebo raných odrůd.

Další možností je upřednostnit druhy rostlin, které jsou odolné vůči suchu. Například pšenice vyžaduje výrazně méně vody (na zavlažování) než rýže nebo kukuřice v období sucha. Proti nedostatku letních srážek a rostoucím vlnám veder by se mohly upřednostňovat zimní rostliny před letními: pšenice před kukuřicí, řepka před slunečnicí atd.

Kromě extrémních klimatických podmínek (vysoké teploty, sucho, mráz atd.) by se měly s využitím místních genetických zdrojů a rozvíjejících se technologií v této oblasti zlepšovat odrůdy odolné vůči chorobám a škůdcům. Zvláštní povinnosti a potřebnou podporu by měly dostat zemědělské výzkumné ústavy a univerzity. Měla by být zajištěna spolupráce veřejného a soukromého sektoru.

Diverzifikace plodin: Diverzifikace plodin by mohla být účinnou možností adaptace na extrémní teploty, časté a intenzivní záplavy, cyklony a další přírodní katastrofy způsobené změnou klimatu, které se staly akutními a v budoucnu se očekávají jako závažné, protože chrání přírodní biologickou rozmanitost, posiluje schopnost agroekosystému reagovat na tyto stresy, minimalizuje znečištění životního prostředí, snižuje riziko celkového výpadku úrody, snižuje výskyt hmyzích škůdců, chorob a problémů s plevelem a také zajišťuje možnosti zásobování potravinami.



Co-funded by
the European Union



poskytnout výrobcům alternativní způsoby získávání příjmů. Poskytuje lepší podmínky pro zajištění potravin a umožňuje zemědělcům pěstovat přebytky produktů pro prodej na trhu, a tím získat vyšší příjem pro uspokojení dalších potřeb souvisejících s blahobytem domácností. Zemědělci v postižených oblastech potřebují získat znalosti a dovednosti o technikách produkce plodin, integrovaných zemědělských systémech (včetně střídání plodin a pěstování meziplodin) a technikách produkce odolných vůči klimatu. Lze je realizovat v různých formách a v různém měřítku, což zemědělcům umožňuje zvolit si strategii, která zvyšuje odolnost a zároveň přináší ekonomické výhody.

Diverzifikace plodin může zvýšit odolnost různými způsoby: zvýšením schopnosti potlačovat výskyt škůdců a tlumit přenos patogenů, který se může podle budoucích klimatických scénářů zhoršit, a také tím, že ochrání produkci plodin před účinky větší proměnlivosti klimatu a extrémních událostí. Tyto výhody poukazují na zřejmou hodnotu přijetí diverzifikace plodin za účelem zvýšení odolnosti, přesto je jejich přijetí pomalé (Lakhran et al. 2017).

Diverzifikace směrem k plodinám s vysokou hodnotou je ve střednědobém až dlouhodobém horizontu proveditelná. Diverzita plodin je vysoce prioritním adaptačním opatřením v zavlažovaných i nezavlažovaných oblastech. S ohledem na prognózu změny klimatu by měly být do střídání zařazeny alternativní luštěniny, pícniny a olejniny odolné vůči suchu a horku.

Změna způsobu ořezu: Systémy pěstování se stále více zjednodušují a rok od roku se střídá stále méně druhů plodin. Různorodé střídání však poskytuje vyšší výnosy plodin ve srovnání se souvislým pěstováním monokultur, zejména v letech s nízkými srážkami a vysokými teplotami. Švédští, polští a italští vědci to zjistili analýzou údajů o výnosech obilovin shromažďovaných po desetiletí v rámci dlouhodobých zemědělských polních pokusů od jižní po severní Evropu. Diverzifikace střídání plodin se ukazuje jako adaptace na nadcházející teplejší a sušší klima. Střídání nebo diverzifikace plodin byly navrženy jako obecná strategie pro udržení výnosů a snížení rizika ztrát výnosů v důsledku nepříznivých klimatických podmínek, a to díky zlepšení úrodnosti půdy, posílení užitečné půdní bioty a potlačení nárůstu plevelů, škůdců a chorob. "Trendem v hlavních pěstitelských systémech na celém světě je však pěstování obilovin ve stále kratších rotacích a na některých místech dokonce v souvislých monokulturách." Pěstování více druhů plodin v meziroční rotaci vždy přinášelo vyšší výnosy ve srovnání se souvislou monokulturou. Průměrný přírůstek výnosu při střídání činil 860 a 390 kg/ha u obilovin setých na podzim a na jaře. U jarních obilovin se přínos různorodého střídání v průběhu času zvyšoval, aniž by se ustálil od počátku



Co-funded by
the European Union



pokusů, přičemž po 50-60 letech dosáhl přírůstku 500 kg/ha. Přínos pestrého střídání plodin byl výraznější v horkých a suchých letech, což je stav, který se podle předpovědí bude se změnou klimatu vyskytovat stále častěji (<https://www.slu.se/en/ew-news/2020/11/crop-rotation-a-promising-way-to-improve-food-security-under-a-changing-climate/>).

V zavlažovaných oblastech lze jako půdopokryvnou rostlinu v rotaci použít pícniny (např. světlice, vikev) a obsah organické hmoty obohatit smícháním s půdou před výsadbou slunečnice, nebo pokud se sklízí na krmení, lze do rotace zařadit druhou plodinu kukuřici, jak se to praktikuje v turecké oblasti Thrákie.

Změna kalendáře výsadby: Termíny výsadby je třeba pečlivě upravit, aby se účinně využily srážky a aby se zabránilo suchu a chorobám/škůdcům. Dobrým příkladem tohoto opatření je posunutí termínu výsadby na listopad, aby se zabránilo žluté zakrslosti v Thrákii/Turecku, a úprava termínu výsadby slunečnice na začátku jara, aby se využilo co nejvíce srážek.

Smíšené pěstování: Smíšené pěstování zahrnuje pěstování dvou nebo více plodin v sousedství na stejném poli. Smíšené plodiny, obvykle směs luskovin a obilovin nebo hlíznatých plodin, jsou běžnou praxí v marginálních agroekologických prostředích, která plní řadu funkcí, včetně doplňkového využívání růstových faktorů, jako jsou půdní živiny, světlo a voda; snížení výskytu škůdců a chorob, snížení půdní eroze, větší celkové produkce biomasy, větší stability výnosů a většího potravinového zabezpečení domácností. Směsi lze navíc flexibilně přizpůsobit podmínkám, jako je pozdní nebo časný nástup období dešťů nebo stav úrodnosti půdy na různých polích. Jednoleté plodiny lze vysazovat mezi ovocné stromy, když jsou mladé.

Zlepšení hospodaření s vodou a zavlažování: Více než 70 % obnovitelných zdrojů sladké vody se využívá k zavlažování. Přibližně 15% úspora vody na zavlažování odpovídá potřebě vody v domácnostech. Průměrná efektivita využívání vody ve světě je velmi nízká 40 % a 35 % v Turecku. V každém případě lze účinnost zvýšit o 10-50 % výběrem rostlin s vysokou účinností využití vody a ekonomickou hodnotou, zaměřením se na studie stresu ze sucha a zasolení, preferencí potrubních systémů při přenosu vody, preferencí vysoce účinných (pokud možno kapkových) zavlažovacích systémů a použitím techniky deficitního zavlažování.

Deficitní zavlažování je situace, kdy je zavlažovací voda aplikovaná na menší, než je nutné k uspokojení plné potřeby vody, což vede k evapotranspiraci (ET) nižší, než je maximální ET plodiny. U několika plodin a za určitých podmínek se zavlažování záměrně snižuje, aby se dosáhlo požadovaných hodnot pro rostliny.



Co-funded by
the European Union



reakci nebo vlastnost či kvalitu produktu, například za účelem omezení vegetativního růstu, zvýšení kvality a hodnoty plodů, navození zralosti nebo usnadnění sklizně. Ve většině však deficitní zavlažování vede ke snížení výnosu a hrubého příjmu. Deficitní zavlažování může být omezeními v dodávkách vody nebo v aplikaci vody nebo chybami v plánování zavlažování, nebo se může jednat o záměrný postup řízení s cílem maximalizovat čistý příjem v podmínkách nedostatečných nebo drahých dodávek vody (Trout a Martin 2020).

Omezená nebo drahá voda může motivovat ke změně produkčního cíle z maximálních výnosů a hrubého příjmu na jednotku plochy na řízení přijatelných výnosů, které maximalizují ekonomické výnosy v rámci omezení zásobování vodou.

Omezení dodávek vody mohou být dlouhodobá a předvídatelná nebo krátkodobá a nepředvídatelná. Plánovací horizont pro řízení deficitního zavlažování určuje dostupné možnosti. Povědomí o dlouhodobých omezeních umožňuje producentům provádět investice do půdy a infrastruktury odpovídající zásobám vody. Pokud jsou sezónní omezení známa před provedením ročních investic do přípravy a osázení polí, lze provozní náklady přizpůsobit předpokládanému zásobování vodou. V průběhu sezóny může dojít k neočekávanému omezení zásobování vodou v důsledku nedostatku srážek, nadhodnocení zásobování vodou nebo poruchy systémů dodávek vody. Neočekávané nedostatky v zásobování během sezóny omezují možnost přizpůsobit výrobní náklady, ale přesto umožňují přerozdělení zásob vody mezi plodiny a oblasti, například opuštění osázených polí nebo jejich částí s cílem soustředit zavlažovací vodu na zbývající půdu (Trout a Martin 2020).

Pro racionální rozhodování o řízení deficitního zavlažování je nutná znalost reakce plodin na vodu. Funkce produkce vody popisuje vztah mezi výnosem nebo hodnotou plodiny a množstvím použité vody. Základní funkce produkce vody souvisí s produkcí biomasy a transpirací rostlin. Předchozí studie zjistily, že biomasa rostlin se zvyšuje téměř úměrně s množstvím transpirované vody v poměru k potřebě výparu. Funkce produkce vody se liší v závislosti na plodině a odrůdě, klimatu, půdě a způsobu hospodaření. Produktivitu vody v plodinách a návratnost po odečtení variabilních nákladů pro hlavní pěstované plodiny (nebo alternativní plodiny) lze vyhodnotit na základě simulovaného výnosu pomocí systému pro podporu rozhodování - modelu systému pěstování plodin. Nejvýnosnější plodiny by měly být určeny za podmínek deficitního a plného zavlažování. K maximalizaci čistého příjmu při deficitním zavlažování se používají funkce produkce vody s ekonomickými parametry. Deficitní zavlažování může maximalizovat čistý příjem, pokud jsou zásoby vody pro zavlažování omezené nebo drahé (Trout a Martin 2020).



Co-funded by
the European Union



Většina ztrát vody pro zavlažování, až 15 %, je způsobena průsakem a odpařováním otevřených kanálů s nízkou přenosovou kapacitou. Tyto kanály musí být brzy přeměněny na trubkový systém, který minimalizuje ztráty při přenosu vody. Ušetřenou vodu lze využít v jiných odvětvích nebo bude možné zavlažovat další zemědělskou půdu. opačném případě budou ztráty vody nadále způsobovat problémy se zasolováním a podzemními vodami, snižovat produktivitu půdy a znečišťovat podzemní a povrchové vody.

Na druhou stranu má použitý způsob zavlažování významný vliv na množství ztracené vody. Ztráty vody podle různých způsobů zavlažování jsou následující (v %): povrchová závlaha 20-70, zavlažování postřikovačem 20-35, centrální pivotová závlaha 10-20 a kapénková závlaha 5-15. V Turecku tvoří 82 % stávajících zavlažovacích systémů povrchové zavlažování, 16 % zavlažování postřikovačem a pouze 2 % zavlažování kapkovou závlahou.

Zatímco tradiční povrchové zavlažovací systémy jsou nahrazovány vysoce účinnými tlakovými zavlažovacími systémy (kapkové a postřikovací systémy), je třeba zohlednit i energetickou náročnost těchto systémů a upřednostnit udržitelné zdroje energie, větrné a solární.

Přízpůsobení opatření na ochranu půdy, vody v půdě a energie: Mezi opatření na ochranu půdy, vody v půdě a energie lze zařadit lepší hospodaření s rostlinnými zbytky a techniky mulčování, hospodaření bez obdělávání půdy nebo s minimálním obděláváním půdy a zvýšení obsahu organické hmoty v půdě.

Zbytky plodin jsou definovány jako části plodin, které zůstaly na poli po sklizni obilí, jako jsou stonky, listy a kořeny, část spadlého obilí a často i plevel. Rostlinné zbytky mohou mít pro zemědělce přímou peněžní hodnotu pro krmení hospodářských zvířat a také hodnotu pro zlepšení půdy a výnosů, která se značně liší v závislosti na prostředí. Kromě toho je ponechávání rostlinných zbytků jednou ze složek konzervačního zemědělství (CA), spolu s nulovým nebo minimálním mechanickým narušováním a střídáním plodin (Anderson a Siddique, 2015), a předpokládá se, že má hodnotu při kontrole eroze, při vytváření organického uhlíku v půdě (SOC) (Anderson a Siddique 2015) a při zlepšování nebo udržování úrodnosti půdy (Lal 2010), což pravděpodobně zvyšuje nebo udržuje výnosy plodin v dlouhodobém horizontu.

Teoreticky by v podmínkách lepšího hospodaření s rostlinnými zbytky vedla zvýšená infiltrace vody a snížený výpar z půdy ke zvýšení výnosu plodin, což by při absenci jiných omezujících faktorů vedlo ke zvýšení výnosu organické hmoty (Anderson a Siddique, 2015). Uložení omezeného množství srážek v půdě během období úhuru po sklizni může mít zásadní význam pro žíhání půdní vlhkosti, klíčení a vzházení semen v počátečních fázích následujícího vegetačního období. Zbytky plodin tomu mohou napomoci v podobě zvýšeného množství vody.



Co-funded by
the European Union



infiltraci (Schwilch et al. 2013) a snížení výparu z povrchu půdy, tj. mulčovací efekt zbytků (Sommer et al. 2012).

Existují vědecké důkazy (Loss et al. 2015), že systémy bez obdělávání půdy se zadržováním strniště zvyšují obsah organické hmoty v půdě ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy. Zvýšení obsahu organické hmoty v půdě zlepšuje fyzikální vlastnosti půdy a urychluje infiltraci srážkové vody do půdy. Kromě toho zvýšením schopnosti půdy zadržovat vodu zabraňuje infiltraci vody pod kořenovou zónu, a proto plodiny z omezeného množství srážkové vody účinně profitují. Předpovědi klimatických změn v Turecku naznačují, že se změní charakteristika srážek, tj. zvýší se počet po sobě jdoucích suchých dnů a budou se vyskytovat velmi vydatné srážky najednou. Za těchto podmínek poskytuje nárůst organické hmoty v půdě maximální užitek z těchto nepravidelných srážek a do značné míry zabraňuje erozi půdy.

Přestože existují výsledky výzkumu, které ukazují, že rezidua ovlivňují výnos rostlin negativně (Scott et al. 2010), uvádí se, že se obecně zvyšuje (Schwilch et al. 2013). Farooq et al. (2011) zjistili, že vliv konzervačního zemědělství (zahrnujícího jak nulové zpracování půdy, tak ponechávání reziduí) na výnosy plodin byl většinou pozitivní, zejména při nižších srážkách, ale naznačili, že tam, kde výnosy plodin konzervačního zemědělství nepřevyšovaly výnosy konvenčních systémů, mohly být příčinou faktory, jako jsou plevele a choroby.

Minimální zpracování půdy a přímý výsev významně přispívají k úspoře energie, a tím i k ochraně životního prostředí a zmírnění změny klimatu.

Minimální zpracování půdy a přímý výsev se v posledních 10 letech praktikuje u letní kukuřice jako druhé plodiny na siláž po sklizni pšenice, ječmene, vikve nebo hrachu na asi 3 000 ha v tureckém regionu Trakya, aby se udržela voda v půdě, zvýšil obsah organické hmoty, snížily náklady na setí a efektivně využil čas. Místní společnosti začaly vyrábět pneumatické stroje pro přímý výsev. Zatímco přímý výsev kukuřice se den ode dne zvyšuje, očekává se, že v blízké budoucnosti se rozšíří i přímý výsev slunečnice (obrázek 13).

6.7. PŘÍSTUPY KE ZVÝŠENÍ KONKURENCESCHOPNOSTI V ODVĚTVĚ ZEMĚDĚLSTVÍ, ZAJIŠTĚNÍ UDRŽITELNOSTI A ZMÍRNĚNÍ ZMĚNY KLIMATU V RÁMCI CSA

Dřívější výzkum zemědělství se zaměřoval pouze na ekonomické dopady, ale dnes je výkonnost zemědělského systému považována za vícerozměrnou a zohledňuje ekonomický, environmentální a sociální rozměr a vzájemné působení těchto rozměrů.

Technologický vývoj, environmentální udržitelnost a konkurence vedly k tomu, že se vedle tradičního zemědělství objevily také zemědělství založené na principu CSA, ekologické zemědělství (OF) a správná zemědělská praxe (GAP), precizní zemědělství, digitální zemědělství, vertikální zemědělské postupy a inteligentní skleníky.



Obrázek 1. 3: Přímý výsev kukuřice letní jako druhé plodiny na siláž po sklizni pšenice v regionu Trakya (fotografie byly získány od majitele společnosti Ekmen Farming Inc., zemědělského inženýra Irfana Ekmena).

postupy OF a GAP: OF je vyjádřen jako systém produkce, který chrání lidské zdraví a zajišťuje kontinuitu ekosystému. Tento systém je založen na ekologických procesech, biologické rozmanitosti a cyklech přizpůsobených místním podmínkám, nikoli na používání vstupů s nepříznivými účinky. Přestože se v GAP používají chemické vstupy, jsou aplikovány způsobem, který nepoškozuje lidské zdraví a životní prostředí. Rozvoj udržitelných zemědělských systémů je považován za prioritní cíl v rámci prevence environmentálních problémů ve světě. OF a GAP přispívají k prevenci změny klimatu i k udržitelnosti životního prostředí. GAP lze v krátké době velmi rozšířit.



Co-funded by
the European Union



Přesné zemědělství: Přesné zemědělství je strategie řízení, která shromažďuje, zpracovává a analyzuje časové, prostorové a individuální údaje a kombinuje je s dalšími informacemi, aby podpořila manažerská rozhodnutí podle odhadované variability pro zlepšení efektivity využívání zdrojů, produktivity, kvality, ziskovosti a udržitelnosti zemědělské produkce. Pomocí různých technologií, jako jsou drony, GPS a internet věcí, může pokračovat v procesech plánování, výsadby, zavlažování a sklizně s minimem lidské práce a minimálním využitím zdrojů, čímž se vytváří maximální efektivita produktů. Aby se přesné zemědělství mohlo široce využívat, je nutné transformovat zemědělské podniky na střední a velké podniky a zvýšit úroveň vzdělání zemědělců.

Vertikální zemědělství: Jedná se o pěstování plodin ve vertikálních vrstvách. Kombinuje techniky hydroponického zemědělství, jako je hydroponie, akvaponie a aeroponie, a zemědělství v řízeném prostředí, jehož cílem je optimalizovat pěstování rostlin. Vertikální zemědělství dokáže vyprodukovat více produktů s menšími nároky na jednotku půdy. Protože jsou produkty umístěny v interiéru, dochází k menším ztrátám při extrémních nebo neočekávaných povětrnostních jevech. Technologie vertikálního zemědělství mají ve srovnání s konvenčními zemědělskými podniky velké počáteční náklady. Potřeba energie je vysoká. Pokud se nevyužívá solární nebo větrná energie, poškozuje to životní prostředí více než konvenční zemědělství a může to způsobit změnu klimatu.

Chytré skleníky: Využití solární, větrné a geotermální energie nebo horké vody uvolněné v průmyslové výrobě lze využít k vytápění plně automatizovaných hydroponických inteligentních skleníků. Tímto způsobem se nabízí možnost dlouhodobé zemědělské produkce bez závislosti na klimatických podmínkách.

Převaha CSA, OF a GAP, precizního zemědělství, digitálního zemědělství a vertikálních zemědělských postupů zajistí konkurenceschopnost zemědělské produkce, ochranu životního prostředí, přizpůsobení se negativním dopadům změny klimatu a prevenci změny klimatu. Kromě toho mohou přispět k rozvoji nových odvětví souvisejících s těmito systémy, ke zvýšení zaměstnanosti, k zajištění udržitelného socioekonomického rozvoje a potravinové bezpečnosti.

6.8. INSTITUCIONÁLNÍ ASPEKT Z KLIMA SMART IMPLEMENTACE ZEMĚDĚLSTVÍ

Jak mohou instituce podporovat CSA?: Instituce mohou zemědělce, zejména drobné, podporovat při zavádění CSA ve třech zásadních oblastech (FAO 2013):



Co-funded by
the European Union



- **Vytváření a sdílení technických znalostí:** Pro drobné zemědělce, kteří mají relativně málo zdrojů, vyžaduje zavádění CSA do praxe znalosti a podporu. Zemědělci potřebují snadnější a dostupnější přístup k informacím, které jsou základem inovativních postupů CSA. Zásadní význam mají instituce, které produkují a sdílejí informace a pomáhají lidem převádět tyto informace na znalosti a opatření.
- **Poskytování finančních služeb, úvěrů a přístupu na trhy:** Výhody získané zavedením CSA se obvykle projeví až po určité době. Do té doby musí zemědělci nést náklady na pracovní sílu, půdu a hotovost. Chudí zemědělci, kteří nemají přístup k úvěrům a trhům, proto nejsou schopni tyto techniky zavést. Proto je pro úspěch CSA rozhodující posílení institucí na podporu zemědělských trhů, finančních mechanismů a pojistných systémů.
- **Podpora koordinace společných akcí:** Společné akce jsou rozhodující pro správu společných lesů a pastvin a pro snížení transakčních nákladů. Mnoho činností v rámci CSA je proveditelných a cenově dostupných pouze tehdy, pokud lidé spolupracují (např. lepší hospodaření s vodou nebo pastvinami). Zásadní význam mají institucionální opatření, která umožňují efektivní a účinné fungování skupin. V širším měřítku jsou rovněž zapotřebí institucionální opatření, která usnadní koordinaci mezi organizacemi a odvětvími (např. prostřednictvím sítí a platforem pro sdílení znalostí).

Klíčové instituce pro iniciativy CSA: Úspěšné změny zemědělských postupů, technologií nebo politik jsou možné, pokud je podporován dialog a spolupráce mezi všemi zúčastněnými stranami, které vlastní, vytvářejí nebo využívají různé druhy znalostí. Nejeefektivnější iniciativy umožňují výzkumným pracovníkům, členům komunit, aktérům soukromého sektoru a tvůrcům politik společně definovat problémy, které chtějí řešit (FAO 2013).

V podmínkách měnícího se klimatu jsou zapotřebí dva druhy poradenství: zaprvé informace o dostupných možnostech (např. technologie a trh), které pomohou přizpůsobit zemědělské systémy a systémy obživy, a zadruhé informace o klimatu jako takovém v podobě předpovědí počasí, sezónních předpovědí a dlouhodobých klimatických trendů. Přednost by měly mít iniciativy včasného varování a včasných opatření před hledáním řešení v průběhu katastrofy, jako je sucho, povodeň apod (FAO 2013).

Role a odpovědnosti institucí veřejného sektoru, občanské společnosti, nevládních organizací, univerzit a výzkumných institucí, médií, institucí soukromého sektoru, jednotlivých zemědělců, výrobních družstev, národních a regionálních orgánů, jakožto poskytovatelů služeb nebo zúčastněných stran.



Co-funded by
the European Union



mezinárodní zemědělské podniky, komerční poradenské firmy, banky, úvěrové a spořitelní instituce, měli by být definováni odběratelé uhlíkových kreditů.

Aby synergie usnadnila interakci a komunikaci mezi mnoha jednotlivými institucionálními aktéry, je třeba vytvořit příznivé prostředí. Tato "institucionální souhra" by měla být nejen "horizontální", odehrávající se na stejné organizační úrovni, ale měla by také integrovat instituce "vertikálně", zahrnovat perspektivy napříč tradičními úrovněmi a hierarchiemi (FAO 2013).

Vzhledem k mnoha institucionálním interakcím vyžadují iniciativy v oblasti CSA spolehlivé sítě na podporu výměny informací a budování partnerství. Rovněž je třeba řešit otázky rovnosti a kulturní aspekty.



Co-funded by
the European Union



KAPITOLA 7

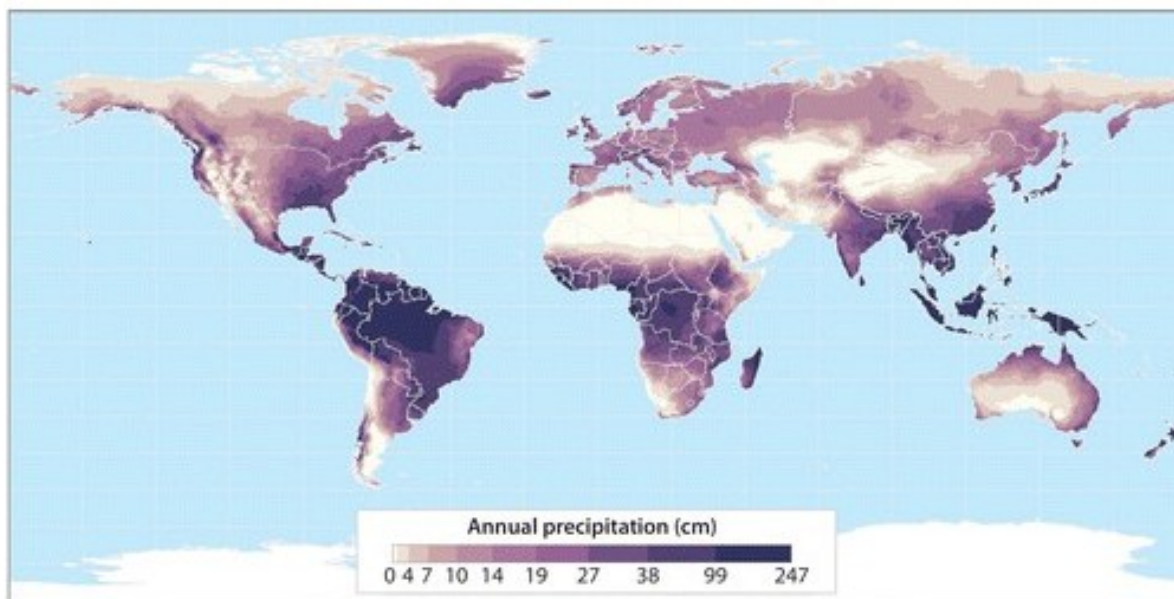
UDRŽITELNÉ HOSPODAŘENÍ S VODNÍMI ZDROJI V PODMÍNKÁCH ZMĚNY KLIMATU

7.1. OBNOVITELNÉ ZDROJE SLADKÉ VODY A NEDOSTATEK VODY VE SVĚTĚ A V PARTNERSKÝCH ZEMÍCH.

Voda je základní složkou života na Zemi. Sedmdesát procent zemského povrchu tvoří voda. Najdete ji v atmosféře nad námi, v oceánech, řekách a jezerech kolem nás i v horninách pod námi. Navzdory svému významu pro život je však sladká voda na Zemi velmi vzácným zdrojem. Méně než 3 % vody, která se na Zemi nachází, je sladká voda a zbylých 97 % tvoří slaná voda, například ta, která se nachází v oceánu. Většina sladké vody na světě není pro člověka snadno dostupná. Přibližně 69 % sladké vody na Zemi je uzamčeno ve formě ledu v ledovcích a polárních ledovcích a dalších 30 % sladké vody na Zemi je pod povrchem v podobě podzemních vod. Zůstává tedy jen asi 1 % sladké vody na Zemi, která je snadno dostupná pro lidské využití (Gleick a Coley 2021).

Byly provedeny četné studie hlavních přírodních toků mezi těmito zásobami vody v podobě srážek, evapotranspirace a říčního odtoku, včetně kombinací pozorování a modelových odhadů (Gosling a Arnel 2016, Wisser et al. 2010). Složky vodní bilance se v jednotlivých letech liší a existují nejistoty spojené s obtížností měření, ale současný odhad celkového množství srážek na pevnině činí přibližně 110 000 km³/rok (km³/rok), přirozená evapotranspirace přibližně 68 000 km³/rok a odtok řek do oceánů a vnitrozemských propadů přibližně 26 000 km³/rok. Zbývajících 16 000 km³/rok představuje čistá spotřeba vody člověkem, což v průměru odpovídá 2 000 m³/rok/obyvatele (Gleick a Coley 2021).

Dostupná povrchová sladká voda však není na celém světě rovnoměrně rozložena v prostoru a čase (viz obrázek 7. 1). Nejvíce povrchových zdrojů sladké vody na světě mají Brazílie, Rusko, Kanada, Indonésie, Čína, Kolumbie a Spojené státy. V důsledku toho žije přibližně pětina světové populace v oblastech s nedostatkem vody, kde každý člověk obdrží v průměru méně než 1 000 metrů krychlových vody ročně. Tento nedostatek vody ovlivňuje přístup lidí k čisté a použitelné vodě a také hospodářský rozvoj a geopolitiku různých oblastí (Gleick a Coley 2021).



Obrázek 7. 1. Nerovnoměrné rozložení srážek ve světě (Gleick a Coley 2021. Roční přehled životního prostředí a zdrojů. Vol. 46:319-348 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>).

Vydání Zprávy Organizace spojených národů (OSN) o světovém rozvoji v oblasti vody (WWDR 2018) z roku 2018 přináší aktuální informace o současných trendech v dostupnosti čisté vody a očekáváních do budoucna. Bezpečnost zásobování vodou, tedy schopnost obyvatelstva zajistit si udržitelný přístup k dostatečnému množství vody přijatelné kvality, je již nyní pro mnohé ohrožena a situace se bude v příštích desetiletích zhoršovat (Burek et al. 2016, Boretti a Rosa 2019). Nedostatek čisté vody je dnešním světem se 7,7 miliardami obyvatel závažným problémem. Zátěž na vodní systém vzroste do roku 2050, kdy světová populace dosáhne 9,4 až 9,5 milionu obyvatel.

10,2 miliardy, což představuje nárůst o 22 až 34 %. Zátěž se ještě zvýší v důsledku nerovnoměrného růstu počtu obyvatel v různých oblastech, který nesouvisí s místními zdroji. Většina tohoto populačního růstu se očekává v rozvojových zemích, nejprve v Africe a poté v Asii, kde je již nyní nedostatek čisté vody velkým problémem (Boretti a Rosa 2019).

V současné době žije o něco méně než polovina světové populace, 3,6 miliardy lidí, tj. 47 %, v oblastech, které trpí nedostatkem vody alespoň jeden měsíc v roce (WWDR 2018, Boretti a Rosa 2019). Místo toho měli přístup pouze ke znečištěné vodě, která může přenášet znečištění a infekční nemoci; obyvatelé, kteří pijí špinavou vodu, jsou vystaveni zvýšenému riziku průjmů, cholery, úplavice a dalších nemocí. Nedostatečný přístup k čisté pitné vodě vede každoročně k více než 3 milionům úmrtí. Podle Mekonnen a Hoekstry (2016) je toto číslo ještě vyšší, 4,0 miliardy lidí, tedy 52 % světové populace. Do roku 2050 bude více než polovina



Co-funded by
the European Union



světové populace (57 %) bude žít v oblastech, které trpí nedostatkem vody alespoň jeden měsíc v roce (WWDR 2018, Boretti a Rosa 2019). Tento odhad WWDR může být podhodnocený. Poptávka po vodě, vodní zdroje a kvalita vody podle prognózy WWDR závisí na mnoha geopolitických faktorech, které je obtížné předvídat. Pokles vodních zdrojů a kvality vody, o kterém WWDR hovoří pouze částečně, může být mnohem obtížněji ovlivnitelný (Boretti a Rosa 2019).

Přístup ke sladké vodě je důležitý i pro hospodářský rozvoj. Zdroje sladké vody například umožňují rozvoj rybolovu. Lidé na celém světě z nich loví ryby, které poskytují dostatek živočišných bílkovin pro výživu 158 milionů lidí na celém světě. Tento rybolov je zdrojem obživy pro místní rybáře i zdrojem příjmů pro obchodníky (<https://education.nationalgeographic.org/resource/freshwater-resources/>).

Kromě využívání sladké vody jako životního prostředí je sladká voda důležitým zdrojem i pro další hospodářské činnosti, například pro zemědělství. Podle jednoho z odhadů se přibližně 70 % světových zásob sladké vody využívá v zemědělství. Zemědělci na celém světě používají zavlažování k dopravě vody z povrchových a podzemních zdrojů na svá pole. Do těchto zemědělských činností je zapojena více než 1 miliarda lidí na celém světě a každoročně vytvářejí ekonomickou hodnotu přes 2,4 bilionu dolarů. V budoucnu se poptávka po zemědělské sladké vodě bude s růstem světové populace jen zvyšovat. Podle jednoho z odhadů se poptávka do roku 2050 zvýší o 50 %. Tento nárůst spotřeby vody bude dále zatěžovat omezené zásoby sladké vody na Zemi a způsobí, že přístup k sladké vodě bude ještě obtížnější. vody . . .

(<https://education.nationalgeographic.org/resource/freshwater-resources/>).

7.1.1. Globální a regionální odběry vody

Údaje o odběrech vody podle regionů a různých hospodářských odvětví patří mezi nejžádanější informace. FAO spravuje databázi AQUASTAT, která se snaží standardizovat odhady odběrů vody podle jednotlivých zemí. Navzdory svým omezením patří stále k nejkomplexnějším dostupným souborům dat. V rámci databáze AQUASTAT jsou odběry vody rozděleny do tří hlavních kategorií: zemědělství, průmysl a obce/domácnosti, ačkoli systémy účtování vody nejsou jednotné.

Odběry vody v zemědělství zahrnují vodu používanou k zavlažování, napájení a čištění hospodářských zvířat a k akvakultuře. Voda pro zpracování zemědělských produktů je zahrnuta do odběrů průmyslové nebo komunální vody. Ve venkovských oblastech je součástí odběrů zemědělské vody často i voda pro domácí účely.



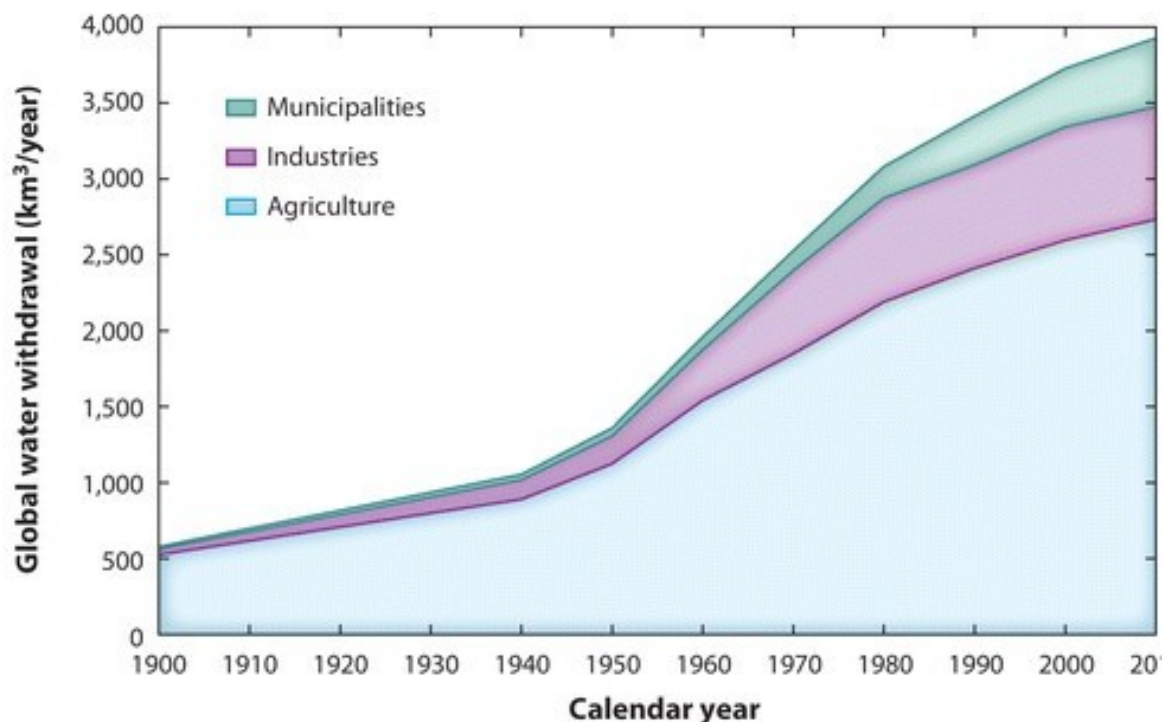
Co-funded by
the European Union



Odběry průmyslové vody zahrnují vodu používanou průmyslovými podniky, které se zásobují samy a nejsou napojeny na veřejnou distribuční síť, například pro výrobu, zpracování, mytí, ředění, chlazení nebo přepravu výrobku, vodu přidávanou do výrobku nebo vodu používanou pro hygienické potřeby ve výrobním zařízení.

Komunální odběry jsou širokou kategorií, která zahrnuje vodu pro domácí účely, stejně jako vodu poskytovanou obcí nebo jiným veřejným dodavatelem pro komerční, průmyslové a institucionální účely.

V roce 2010, za který jsou k dispozici poslední údaje, se na celosvětových odběrech vody podílelo zemědělství 69 %, následoval průmysl (19 %) a obce (12 %). Tyto poměry však podléhají značné regionální variabilitě. Například v Africe a Asii připadá na zemědělství více než 80 % odběrů vody, zatímco v Oceánii 65 %, v Americe 48 % a v Evropě 25 %. Naproti tomu průmyslové odběry vody jsou relativně vysoké v Evropě (54 %) a Americe (37 %), zatímco v Oceánii je to 15 %, v Asii 10 % a v Africe pouze 4 %. Regionální variabilita odběrů vody z komunálních zdrojů se pohybuje od 9 % v Asii po přibližně 20 % v Oceánii a Evropě (Gleick a Coley 2021, FAO 2020). Celosvětové odběry vody (km³/rok) podle odvětví v letech 1900-2010 jsou uvedeny na obr. 7.2.



Obrázek 7.2. Celosvětové odběry vody (km³/rok) podle odvětví v letech 1900-2010. Globálním odběrům vody dominuje zavlažované zemědělství Gleick a Coley 2021. Roční přehled



Co-funded by
the European Union



životního prostředí a zdrojů. Vol. 46:319-348 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>).

Celosvětové odběry vody se mezi lety 1900 a 2010 zvýšily téměř šestkrát (obrázek 2.2) (FAO 2020, Gleick a Coley 2021,). To odpovídá roční míře přírůstku 1,8 %. Podle Wady et al. (2016) je současná roční míra přírůstku nižší, pouze 1 %, ale tento údaj může být optimistický. Období nejrychlejšího růstu nastalo v 1950-1980, kdy se celosvětové odběry vody zvýšily 2,5krát. Podobný trend byl zaznamenán i u spotřebního využívání vody, včetně využívání povrchových a podzemních vod (Wada a Bierkens 2014). Tempo růstu se začalo zpomalovat v roce 1980 a existují určité náznaky, že se odběry vody začaly zpomalovat kolem roku 2000. Mezi lety 2001 a 2010 se celosvětové odběry vody zvýšily pouze o 2,7 % ve srovnání s průměrným nárůstem o 30 % v každém desetiletém období v letech 1951 až 1960, 1961 až 1970 a 1971 až 1980.

7.1.2. Celosvětová poptávka po vodě a její nabídka do roku 2050

Celosvětová poptávka po vodě v příštích dvou desetiletích výrazně vzroste ve všech třech složkách, v průmyslu, domácnostech i zemědělství. Průmyslová a domácí poptávka poroste rychleji než zemědělská, ale poptávka v zemědělství zůstane největší. Celosvětová poptávka po vodě pro všechna využití, která v současnosti činí přibližně 4 600 km⁽³⁾ ročně, se do roku 2050 zvýší o 20 % až 30 %, tedy na 5500 až 6000 km⁽³⁾ ročně. Do roku 2050 vzroste celosvětová populace na 9,4 až 10,2 miliardy lidí, což představuje nárůst o 22 % až 32 %. Potřeba potravin se do roku 2050 zvýší o 60 % a tento nárůst bude vyžadovat více orné půdy a intenzifikaci výroby. To se promítne do zvýšené spotřeby vody (Boretti a Rosa 2019, Gleick a Coley 2021, WWDR 2018).

Poptávka po vodě nesmí překročit její dostupnost. Zatímco poptávka po vodě roste, její dostupnost se snižuje v důsledku ubývajících zdrojů a znečištění. Předpokládá se, že dostupné zdroje povrchové vody zůstanou na kontinentální úrovni přibližně stejné, i když se bude zhoršovat kvalita a změní se prostorové a časové rozložení. S větší pravděpodobností dojde ke zmenšení vodonosných vrstev a vnikání solí do pobřežních oblastí bude velmi dramatické. Naproti tomu růst počtu obyvatel, hrubého domácího produktu (HDP) a poptávky po vodě se globálně a nerovnoměrně zvýší. Změny budou mnohem výraznější na subregionální úrovni než na úrovni jednotlivých zemí a v celosvětovém průměru (Boretti a Rosa 2019, Gleick a Coley 2021, Wada a kol. 2016).

7.1.3. Další ekologické změny do roku 2050



Co-funded by
the European Union



Změny v ekosystémech budou ovlivněny změnami v poptávce po vodě a její dostupnosti a naopak. Zachování nebo obnova ekosystémů ovlivní dostupnost vody pro lidskou spotřebu, a to jak zdrojů, tak kvality. Přibližně 30 % celosvětové rozlohy země je zalesněno a 65 % této rozlohy je již v degradovaném stavu (FAO 2015, Boretti a Rosa 2019). Velké plochy lesů a mokřadů byly přeměněny na travnaté plochy pro pastvu dobytka nebo produkci plodin. Od roku 1700 došlo k úbytku přirozené rozlohy mokřadů o 87 %. Ve 20. a na počátku 21. století byl úbytek mokřadů o 370 % rychlejší (Davidson 2014, Boretti a Rosa 2019). Mění se také půda. Většina půd na světě je pouze v dobrém, špatném nebo velmi špatném stavu (FAO 2015, Boretti a Rosa 2019) a očekává se, že se situace bude v budoucnu zhoršovat. Hlavními globálními problémy jsou eroze půdy, úbytek organického uhlíku v půdě a nerovnováha živin. V současné době odnáší eroze půdy z orné půdy každoročně 25 až 40 miliard tun půdy. Snižují se výnosy plodin a schopnost půdy regulovat vodu, uhlík a živiny. V současné době se z půdy odvádí 23 až 42 milionů tun dusíku a 15 až 26 milionů tun fosforu. Eroze půdy a odtok živin mají negativní vliv na kvalitu vody. Sodík a zasolení půdy jsou globálními problémy v zavlažovaných i nezavlažovaných oblastech. Sodík a zasolení každoročně odnímají 0,3 až 1,5 milionu ha zemědělské půdy (FAO 2015, Boretti a Rosa 2019). Snižuje se také produkční potenciál o 20 až 46 milionů ha. Očekává se, že degradace ekosystémů, biologické rozmanitosti a půdy bude pokračovat až do roku 2050, a to stále rychlejším tempem. To bude mít dopad na dostupnost a kvalitu vody.

Vzhledem k tomu, že poptávka po čisté vodě roste a dostupnost čisté vody se snižuje, přičemž místní situace je mnohem horší než globální, poptávka po čisté vodě nakonec na některých místních úrovních převýší dostupnost čisté vody mnohem dříve než na globální úrovni. V mnoha oblastech světa mohou tyto zlomové body nastat dříve než v roce 2050. Vzhledem k tomu, že když je životně důležitý zdroj v nedostatku, lidé o něj budou bojovat, bude se zajištění vody do roku 2050 velmi pravděpodobně odehrávat na pozadí sociální soutěže a pravděpodobně i konfliktu, pokud se nic neudělá pro to, aby se zabránilo vodní krizi (Boretti a Rosa 2019).

7.1.4. Nabídka a poptávka po vodě v partnerských zemích

Turecko: Průměrný roční úhrn srážek v Turecku je přibližně 574 mm, což odpovídá přibližně 450 miliardám kubických metrů vody. Potenciál povrchové vody, kterou lze využít k různým účelům, činí za současných technických a ekonomických podmínek v průměru 94 BCM/rok. Spotřebitelný potenciál povrchové a podzemní vody v Turecku činí 112 BCM/rok, z čehož se využívá 57 BCM (tabulka 7.1).



Co-funded by
the European Union



Tabulka 7.1. Vodní potenciál Turecka (DSI, 2018: <http://www.dsi.gov.tr/>)

Průměrný roční úhrn srážek (mm/rok)		574
Rozloha Turecka (km ²)		783 577
Celkový objem vody (BCM)		450
Roční odtok (BCM)		186
Využitelná povrchová voda (BCM)		94
Roční odběr podzemní vody (BCM)		18
Celkový potenciál využitelné vody (BCM)		112
Současné využití vody	Zemědělství (BCM)	44 (%77)
	Tuzemsko a průmysl (BCM)	13 (%23)
	Celkem (BCM)	57 (%100)

V Turecku je ohrožení bezpečnosti vodních zdrojů jedno z nejvyšších ze všech evropských zemí. V důsledku rychlého nárůstu počtu obyvatel z 28 milionů v 60. letech 20. století na 84 milionů v roce 2023 se dostupnost vodních zdrojů snížila z přibližně 4000 m³ na dnešních 1333 m³ na obyvatele/rok (DSI, 2018). Potřeba vody v Turecku se v druhé polovině minulého století přibližně zdvojnásobila. Celková poptávka po vodě v Turecku nadále roste, a to ještě více s ohledem na dopady sucha (resp. změny klimatu). Turecko bude v příštích letech trpět nedostatkem vody. Očekává se, že dostupnost vody se v roce 2050 sníží na přibližně 1000 m⁽³⁾ v důsledku růstu populace a vlivu změny klimatu (SYGM, 2016).

Přibližně 77 % celkových zásob vody v Turecku se využívá pro zemědělské zavlažování, zbývajících 23 % se používá pro pitné a průmyslové účely (DSI, 2018).

Podle obou scénářů, optimistického i pesimistického, se očekává, že množství srážek v Turecku v letech 2015-2100 poklesne. Od roku 2050 se předpokládá výraznější snížení až na 250-300 mm (průměrně 60 mm). Negativní srážkové anomálie vynikají zejména na pobřeží Egejského a Středozemního moře a v jihovýchodních a východních oblastech. Nárůst celkového množství srážek a extrémních srážek se očekává v následujících oblastech



Co-funded by
the European Union



východně od Černého moře. Předpokládá se výrazné snížení zasněžených ploch a množství sněhových srážek (SYGM, 2016).

Odhaduje se, že v letech 2030, 2050 a 2100 dojde ke změnám odtoku o -52 % až -61 % a ke snížení povrchových vod tureckých povodí o 20 %, 35 % a 50 %. Do roku 2100 by v Turecku mohlo dojít k rozšíření suchých oblastí, což by mohlo vést ke zvýšení vodního stresu v okolí jižního Středomoří (Bozkurt a Sen, 2012).

Rakousko: Rakousko se vyznačuje velkým množstvím vodních zdrojů. Ty se prostřednictvím pramenů a vodopádů vyvíjejí v horské potoky a řeky, napájí jezera, poznamenávají krajinu a jsou neviditelně uloženy v podzemí jako podzemní voda (Spolkové ministerstvo Rakouské republiky - zemědělství, regiony a cestovní ruch, 2021).

Celkový roční úhrn srážek 1190 mm, který na spolkovém území spadne v dlouhodobém průměru, odpovídá objemu vody přibližně 99,8 m³. Z tohoto objemu většina odtéká na povrchu a/nebo v blízkosti povrchu prostřednictvím tekoucích vod nebo se vypařuje. V rakouském průměru prosakuje téměř 27 % srážek do podzemních vod a zprostředkovaně nebo dlouhodobě se v nich ukládá.

Celková roční potřeba vody v Rakousku činí přibližně 3,1 milionu m³ (viz tabulka 7.2) Potenciální vývoj do roku 2050 je znázorněn v tabulce 7.3.

Přibližně 60 %, což je asi 1,9 miliardy m³, se odebírá z povrchových vod. Většina z nich se využívá jako chladicí voda pro obchod a průmysl, menší část využívá zemědělství a služby (umělý sníh).

Přibližně 40 % celkové potřeby vody - což je asi 1,2 miliardy m³ - je pokryto podzemní vodou (68 % studny, 32 % prameny). Největší podíl se využívá pro zásobování vodou, menší podíl připadá na obchod a průmysl a na zemědělství a služby.

Tabulka 7.2. Potřeba vody v milionech metrů krychlových (MCM) v současnosti Potřeba vody

Potřeba vody (MCM)	Podzemní voda celkem (MCM)	Povrchové vody (MCM)	Celkem (MCM)	Podíl na celkové částce (%)
Zásobování vodou	753		753	24
Zemědělství	118	6	124	4
Obchod a průmysl	353	1857	2210	70
Vybrané služby	7	45	52	2



Co-funded by
the European Union



Celkem	1232	1908	3140	100
---------------	-------------	-------------	-------------	------------

Předpoklady pro rok 2050 předpokládají, že poptávka po vodě pro obchod a průmysl zůstane přibližně stejná, zatímco poptávka po vodě pro zásobování domácností v zemědělství a vybrané služby se zvýší a celková poptávka po vodě se bude pohybovat v rozmezí 3312 - 3359 MCM pro "příznivý" a "nepříznivý" scénář vodního pokladu.

Tabulka 7.3. Potenciální vývoj potřeby vody v milionech m³ do roku 2050

Potřeba vody (MCM)	V současné době (MCM)	Scénáře 2050 (MCM)	Výměna vody poptávka (%)
Zásobování vodou	753	830-850	10.2-12.9
Zemědělství	124	182-202	46.8-62.9
Obchod a průmysl	2210	2237	-
Vybrané služby	52	63-70	21.2-34.6
Celkem	3140	3312 - 3359	5.5-7.0

Česká republika: Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek v České republice je 2017 mm/rok, což odpovídá 53,4 BCM/rok vodního potenciálu v celé zemi.

Součet obnovitelných zdrojů podzemní vody a obnovitelných zdrojů povrchové vody (vnitřních i vnějších) činí přibližně 13 miliard m³/rok, tj. 1215 m³/osobu/rok (tabulka 7.4).

Tabulka 7.4. Voda potenciály na České republiky České republiky (<https://www.worldometers.info/water/czechia-water/#water-precipitation>)

Průměrný roční úhrn srážek (mm/rok)	2017	
Rozloha České republiky (km ²)	78.871	
Celkový objem vody (BCM)	53.4	
Celková obnovitelná voda (povrchová a podzemní voda, obojí) interní a externí) (BCM)	13	
Současné využití vody	Zemědělství (MCM)	44.5 (%3)
	Průmysl (MCM)	981.8 (%60)
	Domáci (MCM)	605.6 (%37)
	Celkem (MCM)	1.635 (100)

Země střední a severní Evropy včetně České republiky vykazují nárůst průměrné roční dostupnosti vody (Bisselink et al. 2020).



Co-funded by
the European Union



Polsko: Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek v Polsku je 600 mm/rok, což odpovídá 187,6 BCM/rok vodního potenciálu v celé zemi (tabulka 7.5).

Součet obnovitelných zdrojů podzemní vody a obnovitelných zdrojů povrchové vody (vnitřních i vnějších) činí přibližně 61 miliard m³/rok, tj. 1585 m³/osobu/rok.

Tabulka 7.5. Voda potenciály na Polska
(<https://www.worldometers.info/water/poland-water/#water-resources>)

Průměrný roční úhrn srážek (mm/rok)		600
Rozloha České republiky (km ²)		312.696
Celkový objem vody (BCM)		187.6
Celková obnovitelná voda (povrchová a podzemní, vnitřní i vnější) (BCM)		61
Současné využití vody	Zemědělství (BCM)	1.053 (%10)
	Průmysl (BCM)	7.483 (%71)
	Vnitrostátní (BCM)	2.046 (%19)
	Celkem (BCM, %)	10.58 (100)

Země střední a severní Evropy včetně Polska vykazují nárůst průměrné roční dostupnosti vody (Bisselink et al. 2020).

7.1.5. Nedostatek vody

Vodní stres lze kvalitativně definovat jako nedostatek sladké vody pro domácí, zemědělské a/nebo průmyslové potřeby. Vodní stres může být důsledkem nadměrného využívání vodních zdrojů v důsledku nárůstu počtu obyvatel, industrializace a/nebo nedostatečných ochranných postupů, jakož i snížení množství srážek v důsledku změn klimatu a/nebo nedostatečné kapacity zásobníků v oblastech, které během roku dostávají proměnlivé množství vody. Na základě práce Falkenmarka (Falkenmark 1986) světové humanitární organizace běžně definují podmínky "vodního stresu" jako méně než 1700 m³ dostupné vody na osobu za rok a "vážený vodní stres" jako méně než 1000 m³ na osobu za rok.



Co-funded by
the European Union



Tři klíčové aspekty nedostatku vody, poptávka po vodě, vodní zdroje a znečištění vody, jsou silně spojeny s růstem populace a hospodářským růstem. Jsou silně propojené a dramaticky proměnlivé v prostoru a čase, přičemž místní budou mnohem horší než globální. Nedostatek vody ovlivňuje mnoho faktorů, včetně základní hydrologie regionu, demografie a ekonomiky, úrovně a typu vodohospodářské infrastruktury a institucí vybudovaných za účelem uspokojení lidských potřeb a povahy těchto potřeb samotných (Gleick a Cooley 2021).

Hydrologie: Dočasná regionální nerovnováha vlhkosti se nazývá sucho. Je to v podstatě klimatický jev definovaný jako nedostatek vody. Existuje mnoho různých typů sucha, včetně hydrologického, meteorologického, zemědělského a ekonomického. Hydrologické a meteorologické sucho lze například definovat jako nedostatek odtoku, podzemní vody, srážek nebo jiného ukazatele souvisejícího s vodou ve srovnání s průměrným očekávaným množstvím vody. Zemědělské sucho může představovat nedostatek vody ve zvláště kritickém období potřebném pro úspěšnou produkci plodin. Sociální nebo ekonomické sucho lze definovat v souvislosti s konkrétní sociální nebo ekonomickou poptávkou po vodě, kdy tuto poptávku nelze plně uspokojit. Ekologické sucho je deficit přirozeně dostupných zásob vody, který vytváří stres napříč ekosystémy (Mann a Gleick 2015; Wilhite a Glantz 1985).

Demografické a ekonomické faktory: S rostoucím počtem obyvatel klesá množství vody na obyvatele. Běžným způsobem měření nedostatku vody je jednoduchá metrika - dostupnost vody na obyvatele (voda na jednotku populace). S populačním a hospodářským růstem se tradičně zvyšuje i poptávka po vodě, což vytváří měřitelné a významné nové faktory přispívající k nedostatku vody a nerovnováze mezi nabídkou a poptávkou. Ekonomické faktory mohou být také příčinou vnímaného nedostatku, když lidé z důvodů chudoby nejsou schopni platit za vodohospodářské služby, které potřebují, a jsou zbaveni přístupu k těmto službám (Molle a Mollinga 2003).

Infrastruktura a instituce: I v případě, že fyzická nebo ekonomická dostupnost vody není problémem, může k nedostatku vody dojít, pokud existuje nedostatečná infrastruktura nebo pokud problémy s institucemi a systémy vodního hospodářství brání tomu, aby se požadované vodohospodářské služby dostaly do místa poptávky. Dalším aspektem institucionálního nedostatku je situace, kdy vodní politika omezuje množství vody, které lze využívat, například když snahy o ochranu a obnovu ekosystémů vedou k závazkům týkajícím se vody pro životní prostředí, která by dříve mohla být využívána lidmi (Fischhendlen a Zilberman 2005).



Co-funded by
the European Union



Změna klimatu: Změny klimatu způsobené člověkem se zrychlují. Voda a změna klimatu spolu neoddelitelně souvisejí. Extrémní povětrnostní jevy způsobují, že vody je stále méně, je nepředvídatelnější, je více znečištěná nebo jsou znečištěny všechny tři faktory. Tyto dopady v celém vodním cyklu ohrožují udržitelný rozvoj, biologickou rozmanitost a přístup lidí k vodě a hygienickým zařízením.

K nevyhnutelným důsledkům patří zásadní změny hydrologického cyklu, včetně zvýšení míry evapotranspirace s rostoucí teplotou, regionálních změn v zásobách a tocích vody a ledu, změn v intenzitě a závažnosti extrémních jevů, jako jsou sucha a povodně, změn v bilanci sladké vody v pobřežních vodonosných vrstvách a ústích řek s rostoucí hladinou moře a další (Field et al. 2014.). Změny klimatu budou mít také přímý a nepřímý dopad na nedostatek vody, protože se změni nabídka i poptávka po sladké vodě. Přestože se klimatické modely stále zdokonalují, přetrvávají nejistoty ohledně podrobných dlouhodobých důsledků klimatických změn pro regionální a místní hydrologii. Očekává se, že s prohlubujícími se změnami klimatu se bude zvyšovat riziko nedostatku vody pro stovky milionů lidí, pokud nedojde k výraznému úsilí o snížení rizik nedostatku vody (Gampe et al. 2016).

7.2. DOPAD ZMĚNY KLIMATU NA HOSPODAŘENÍ S VODOU V ZEMĚDĚLSTVÍ

Zemědělství je odvětvím, které může být změnou klimatu ovlivněno nejvýznamněji, protože systémy pěstování plodin a chovu hospodářských zvířat jsou zásadně závislé na klimatických proměnných, jako jsou srážky a teplota. Změna klimatu ovlivňuje zejména potřebu vody v zemědělství, její dostupnost a kvalitu (Kundzewicz et al. 2007, Cai et al. 2015). Dopady změny klimatu na hospodaření s vodou byly posouzeny v několika nedávných zvláštních zprávách mezinárodních agentur, jako je Organizace OSN pro výživu a zemědělství (Turrall et al. 2011), Mezinárodní institut pro výzkum potravinové politiky (IFPRI) (Nelson et al. 2009) a IPCC (2013, 2014). Nedávno Cai et al. publikovali (2015) přehled dopadů změny klimatu na zemědělské vodní hospodářství. Všechny tyto studie mají společný závěr: Změna klimatu pravděpodobně negativně ovlivní zemědělství, čímž ohrozí globální potravinovou bezpečnost (Cai et al. 2015).

Změna klimatu může v důsledku měnících se teplot a srážek na místní a regionální úrovni významně změnit dostupnost vody i potřebu vody pro plodiny. Potřeba vody pro plodiny se obvykle měří pomocí evapotranspirace vody (ET), což je součet evaporace a transpirace rostlin z povrchu Země do atmosféry. Dostupnost vody,



Co-funded by
the European Union



včetně srážek a zavlažování, může uspokojit požadavky plodin na vodu, je hlavním faktorem určujícím produkci plodin (Cai et al. 2015).

7.2.1. Potřeba vody v plodinách (ET) při změně klimatu

ET plodin může být plně nebo částečně pokryta srážkami, které mohou být efektivně využity plodinami (tj. efektivní srážky) u plodin napájených deštěm a srážkami i zavlažováním u zavlažovaných plodin. Deficit vody u dešťových plodin (tj. rozdíl mezi ET a efektivními srážkami) je citlivý na scénáře klimatických projekcí (Zhang a Cai 2013).

Zhang a Cai vysvětlili svá zjištění tím, že ukázali trend ET plodin. Obvykle se má za to, že zvyšující se teploty vedou ke zvyšování potřeby výparu; teplejší atmosféra však nemusí nutně způsobovat vyšší výpar (Zhang a Cai 2013, Ohmura a Wild 2002). Důvodem pozorovaného poklesu ET za teplejšího klimatu pravděpodobně pokles denního teplotního intervalu (DRT, definovaného jako rozdíl mezi denní maximální teplotou a denní minimální teplotou); nedávné zprávy IPCC (2014, část A a část B) ukázaly, že pokles DTR je hlavním faktorem vedoucím k poklesu ET.

Regionální heterogenita dopadů změny klimatu na požadavky plodin na vodu je značná. Lze identifikovat určité zákonitosti v požadavcích na zavlažování a deficit vody u plodin pěstovaných za deště. Nižší požadavky na vodu lze očekávat v Africe, Austrálii a Číně, zatímco jiné regiony - Evropa, severní Indie, východní část Jižní Ameriky a východ Spojených států - mohou být změnou klimatu negativně ovlivněny (Zhang a Cai 2013).

Potřeba a nedostatek vody se sníží v západní Evropě, ale zvýší se ve východní Evropě; v jižní Evropě je větší pravděpodobnost, že se projeví větší nedostatek vody než na severu v důsledku změny srážek. Vodní stres se pravděpodobně zvýší ve středomořských zemích (Portugalsko, Španělsko a Turecko) a v některých částech střední a východní Evropy (Bates et al. 2008).

Podle výsledků výzkumu provedeného v tureckém regionu Thrace (Deveci 2015) byly průměrné hodnoty ET₀ v roce 2012 vypočteny podle Penmanovy Monteihovy metody (Allen et al. 1998) na 3,0 mm/den. S ohledem na prognózy klimatických změn se očekává, že ET₀ se v letech 2016-2025 zvýší na 3,2 mm (7 %), v letech 2016-2025 na 3,6 mm (20 %) a v letech 2046-2055 a 4,0 mm (33 %) mezi roky 2076 a 2085.

Odhad požadavků na zavlažování v souvislosti se změnou klimatu komplikuje také změna načasování vegetačního období pro konkrétní plodiny (Mínguez et al. 2007). Zvyšující se teplota by prodloužila délku vegetačního období, což by umožnilo dřívější výsadbu i



Co-funded by
the European Union



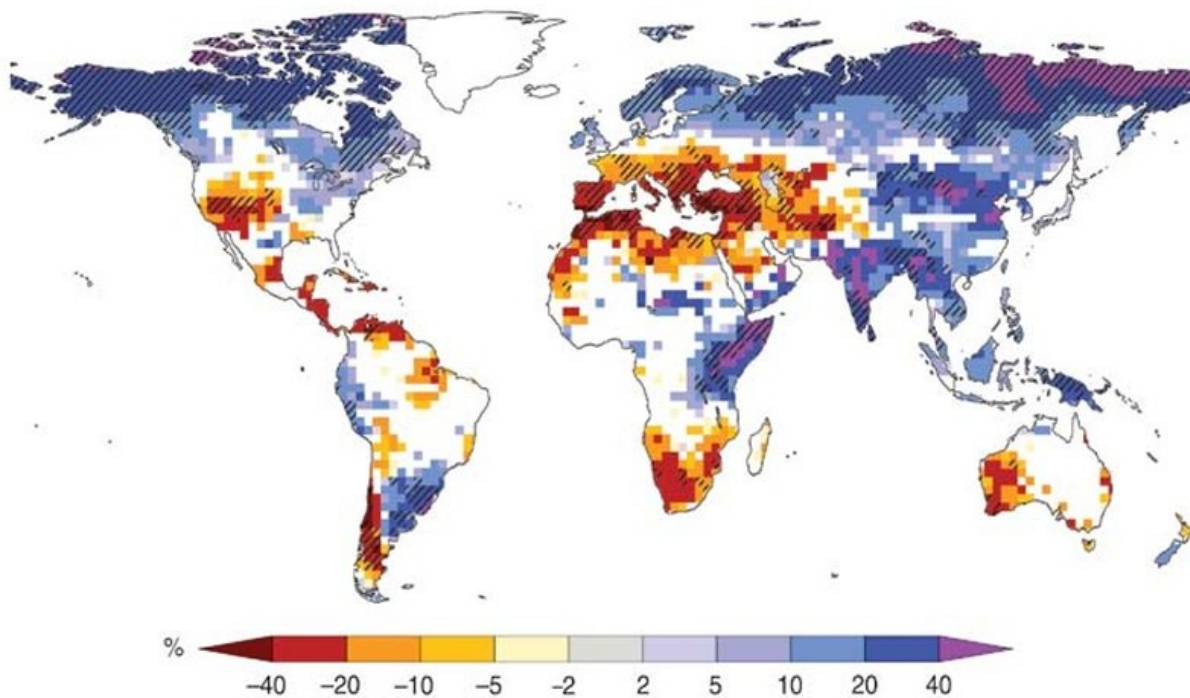
pozdější sklizeň, v severních mírných pásmech, ale zkracují délku téměř všude jinde (Turrall et al. 2011). Delší období růstu pravděpodobně zvýší nároky plodin na vodu. Kromě toho se může stát, že se změnou klimatu se některá plodina stane pro pěstování v určitém regionu nevhodnou. Takové změny v zemědělství komplikují odhady potřeby vody pro plodiny. Adaptační opatření, jako jsou upravené kalendáře pěstování plodin, zvýšená efektivita využívání vody plodinami a moderní technologie zavlažování, mohou dále snížit potřebu vody pro plodiny (Cai et al. 2015).

7.2.2. Dostupnost vody v podmínkách změny klimatu

V zemědělství se voda dostupná pro plodiny pěstované za deště nazývá zelená voda, tj. voda uložená v půdě, kterou lze využít pro růst plodin, zatímco voda dostupná pro zavlažované plodiny zahrnuje jak zelenou, tak modrou vodu (tj. vodu v řekách, jezerech a vodonosných vrstvách) (Falkenmark a Rockström 2006). Změna srážek, včetně jejich celkového množství a sezónního rozložení, bude určujícím faktorem pro plodiny pěstované za deště. Zavlažování je opatření ke zmírnění dopadu nedostatku vody v období růstu plodin odběrem modré vody z povrchových nebo podzemních zdrojů. Místní a regionální změny srážek a teploty ovlivňují vodu dostupnou pro zavlažování (Schewe et al. 2014, Rosegrant 2002).

Povrchové vody: Dopady změny klimatu na zdroje povrchové vody v řekách, jezerech a nádržích a mokřadech jsou určovány především načasováním, umístěním, množstvím a formou srážek (sníh nebo déšť) (Bates et al. 2008). Místní vzorce jsou pro srážky variantnější a důležitější než teplota.

Změny srážek a teploty vedou ke změnám odtoku a dostupnosti vody (obrázek 7.3). Předpokládá se, že do poloviny století se odtok s vysokou mírou jistoty zvýší o 10 až 40 % ve vyšších zeměpisných šířkách a v některých vlhkých tropických oblastech, včetně hustě osídlených oblastí ve východní a jihovýchodní Asii, a sníží se o 10 až 30 % v některých suchých oblastech ve středních zeměpisných šířkách a suchých tropech v důsledku poklesu srážek a vyšší míry evapotranspirace. Existuje také vysoká míra jistoty, že v mnoha polosuchých oblastech (např. v povodí Středozemního moře, na západě Spojených států, v jižní Africe a v severovýchodní Brazílii) dojde v důsledku změny klimatu k úbytku vodních zdrojů (IPCC 2007).



Obrázek 7.3. Velkoplošné relativní změny ročního odtoku (dostupnost vody v procentech) pro období 2090-2099 ve srovnání s obdobím 1980-1999 (Zdroj: IPCC 2007, SYR Obr. 3.5).

Mnoho rozsáhlých zavlažovacích systémů ve světě je závislých na povrchové vodě a dopad změny klimatu může být komplikován problémy s rozdělováním vody mezi horní a dolní tok v měřítku povodí a mezinárodním sdílením vody v mnoha regionech (Cai et al. 2015, Turrall et al. 2011).

Sníh a ledovce: Ledovcový led je považován za největší zásobárnu sladké vody na Zemi, neboť "uchovává" přibližně 70 % světové sladké vody. Voda uložená v podobě ledovcového ledu/sněhu je považována za hydrologickou pojistku pro daný region, konkrétně pro zemědělství. Mnoho zavlažovacích systémů na světě je závislých na průtoku vody z tajícího sněhu v horních částech ledovců v období sklizně. Zvýšená teplota v zimě nebo brzy na jaře zvyšuje průtok vody před a/nebo po období sklizně, ale snižuje průtoky v období sklizně (Cai et al. 2015).

Vliv oteplování pravděpodobně výrazně změní hydrologický cyklus v oblastech s převahou sněhu. S vysokou mírou jistoty bylo konstatováno, že rostoucí teplota změní sezónnost říčních průtoků v místech, kde se forma zimních srážek mění ze sněhových na dešťové. To změní načasování maximálních průtoků v tocích pocházejících z tání sněhu v mnoha kontinentálních a horských oblastech. V důsledku toho se zimní průtok zvýší v dřívějším tání sněhu, zatímco letní průtok se sníží. Místa v nižších nadmořských výškách s okrajovým množstvím sněhových srážek jsou na tento efekt citlivější a kulminační průtok by se mohl vyskytnout nejméně



Co-funded by
the European Union



v mnoha případech o měsíc dříve. Jelikož kapacita zásobníků nestačí na tento posun maximálního odtoku, většina "ranní vody" přijde nazmar a skončí v oceánu (Kundzewicz et al. 2007, Barnett et al. 2005, IPCC 22013, Cai et al. 2015).

Podle prognóz změny klimatu se například v Turecku předpokládá pokles zasněžených ploch a množství sněhových srážek. Pokles tloušťky sněhové pokrývky v zimě a na jaře ve východním Turecku naznačuje změnu charakteru srážek. Úbytek sněhu v oblasti východní Anatólie může způsobit vážné snížení průtoků v tocích v jarních a letních měsících, kdy dnes dochází k tání. To způsobí hospodářské ztráty v tureckém zemědělství a energetice. Zvýšení evapotranspirace, zejména v důsledku zvýšení teplot, zvýší potřebu zavlažování v zemědělském sektoru (SYGM 2016, Konukcu et al. 2019).

Zdroje podzemní vody: Zdroje podzemní vody mají zásadní význam pro zabezpečení vodních zdrojů mnoha obcí, protože slouží jako nárazník při extrémních klimatických jevech. V mnoha regionech je hlavním uživatelem podzemní vody zavlažování. Rozsáhlé čerpání podzemních vod pro zavlažování však již způsobilo jejich vyčerpání a situace se může v budoucnu ještě zhoršit v důsledku změny klimatu, což ohrožuje udržitelnost podzemních vod (Taylor et al. 2013).

Proměnlivost a změna klimatu ovlivňují systémy podzemních vod přímo prostřednictvím doplňování podzemních vod a nepřímo prostřednictvím změny odběrů podzemních vod pro zásobování člověka vodou (Taylor et al. 2013). Vliv oteplování na tání ledovců, které může zvýšit odtok na jaře a snížit v létě, může dále zvýšit poptávku po podzemní vodě. Tyto situace se mohou ještě zhoršit v důsledku rostoucího výskytu sucha a dalších extrémních klimatických jevů (Hagg et al. 2007). Změna klimatu si navíc vynutí velkou hrozbu pro zdroje podzemní vody na ostrovech a v pobřežních oblastech kvůli zvyšování hladiny moře a pronikání slané vody do vodonosných vrstev (Bates et al. 2008).

Účinným opatřením ke zvýšení hydrologického pojištění v některých regionech tak může být dodatečná kapacita zásob povrchové vody a umělé doplňování podzemní vody před a po období růstu plodin, zejména ve vlhkých letech.

Vlhkost půdy: Půdní vlhkost je důležitou proměnnou klimatického systému. Půdní vlhkost je ovlivňována dalšími klimatickými proměnnými, jako jsou srážky, teplota a rychlost větru, a také fyzikálními podmínkami půdy. Proto může mít předpokládaná změna klimatu značný dopad na půdní vlhkost v místním a regionálním měřítku (Seneviratne et al. 2010, Cai et al. 2015). Taková změna může mít buď pozitivní, nebo negativní



Co-funded by
the European Union



přímý dopad na plodiny pěstované za deště. Klíčem ke zmírnění dopadu změny množství i časového rozložení srážek jsou drobné projekty sběru dešťových srážek (Turrall et al. 2011, IPCC 2013).

7.2.3. Kvalita vody

Dostupnost vody pro lidskou společnost a životní prostředí kriticky závisí nejen na množství vody, ale také na její kvalitě, protože kvalita a množství vody spolu souvisejí a vzájemně se ovlivňují. Vliv klimatických změn na kvalitu vody však není ve srovnání s kvantitou vody dostatečně prozkoumán (Kundzewicz et al. 2007, Bates et al. 2008). Změna klimatu přímo ovlivňuje kvalitu vody prostřednictvím změny teploty vody ve vodních útvech. Na druhé straně je lidská činnost v zemědělství a dalších odvětvích zodpovědná za zhoršování kvality vody především nepřímo v důsledku likvidace odpadních vod.

Důvodů zhoršování kvality vody v důsledku zemědělské činnosti v podmínkách změny klimatu je celá řada: i) eroze půdy na zemědělské půdě, ii) zasolování vody v pobřežních oblastech v důsledku nadměrného odběru vody z vodonosných vrstev, který způsobuje pronikání slané vody, což může být ještě zhoršeno zvyšováním hladiny moře v důsledku globálního oteplování, iii) využívání půdy a hospodaření s ní, včetně kultivace půdy a hnojení a aplikace pesticidů, iv) zavlažování vodou z čistíren odpadních vod v období sucha, v) zpětný tok vody pro zavlažování v oblastech se zvýšeným využíváním vody pro zavlažování, zejména prostřednictvím tradičních zavlažovacích systémů, jako jsou záplavové systémy (Cai et al.). 2015).

Zemědělské činnosti se budou muset přizpůsobit delšímu vegetačnímu období v kombinaci se sníženou dostupností vody, přičemž nové plodiny vhodné pro sušší a teplejší podmínky budou znamenat nižší objemy vypouštěných odpadních vod s vyššími koncentracemi. Plány na řešení nežádoucích dopadů na kvalitu vody, zejména těch, které souvisejí se zemědělstvím, budou vyžadovat integraci zásahů od ochrany vodních zdrojů přes adaptace v zemědělství až po provozní postupy v dalších odvětvích, jako je zásobování vodou, odvádění vody z měst a čistící systémy, které se mohou v důsledku změny klimatu změnit (Murdoch et al. 2000, Cai et al. 2015).

7.2.4. Extrémní klimatické jevy

Změna klimatu ovlivňuje nejen dlouhodobé trendy a změny klimatických proměnných, jako je teplota a srážky, ale také četnost, intenzitu a trvání extrémních jevů. Extrémní klimatickou událost lze definovat jako výskyt hodnoty klimatické proměnné nad (nebo pod) horní (nebo dolní) prahovou hodnotou. Mezi extrémní klimatické jevy patří povodně, sucho, vlna veder, hurikán, cyklon, tajfun a tornádo. Více než 70 %



Co-funded by
the European Union



"miliardové události" v druhé polovině minulého století souvisely s extrémními klimatickými jevy (Cai et al. 2015).

Zemědělství je výrazně ovlivněno extrémními klimatickými jevy po celém světě (Nelson et al. 2009, Turrall et al. 2011, IPCC 2012). Četnost a intenzita těchto extrémních jevů se v budoucnu v důsledku změny klimatu pravděpodobně ještě zvýší (IPCC 2012). Pozorování totiž ukazují, že v posledních 60 letech již došlo k trendu nárůstu různých klimatických extrémů, jako je nárůst počtu neobvykle teplých dnů a nocí v globálním měřítku, zvýšení počtu silných srážek v některých regionech, posun extratropických cyklón směrem k pólům a dřívější výskyt jarních kulminačních průtoků na řekách tajícího sněhu a řekách napájených ledovci (IPCC 2012, Cai et al. 2015). Zde budou z mnoha extrémních klimatických jevů diskutovány dva nejdůležitější pro zemědělství, povodně a sucho.

Záplavy: Povodně jsou v mnoha regionech nejčastěji hlášenou přírodní katastrofou, která postihuje 140 milionů lidí ročně (WDR, 2003, 2004). Pozorovaný nárůst intenzity srážek a další pozorované klimatické povodně naznačují, že změna klimatu již mohla mít vliv na intenzitu a četnost povodní (Kron a Berz, 2007, Bates et al. 2008).

Mezi procesy, které způsobují povodně, patří intenzivní a/nebo dlouhotrvající srážky, tání sněhu, protržení hrází, snížení průtočnosti v důsledku ledových zácp nebo sesuvů půdy nebo vichřice. Povodně závisí na intenzitě srážek, jejich objemu, načasování, fázi (déšť nebo sníh), předchozích podmínkách řek a jejich povodí (např. přítomnost sněhu a ledu), charakteru a stavu půdy (zmrzlá nebo ne, nasycená nebo nenasyčená), vlhkosti, rychlosti a načasování tání sněhu/ledů, urbanizaci, existenci hrází, přehrad a nádrží.

Povodně mají často velký dopad na venkovské oblasti, pokud jde o ztráty a škody, protože zemědělská půda je vůči povodním velmi zranitelná, protože se nachází v záplavových oblastech a záplavových územích nebo v jejich blízkosti. Přívalové deště navíc způsobují nadměrnou vlhkost půdy, která značně ovlivňuje zemědělskou produkci. Nadměrné srážky také způsobují zemědělské ztráty způsobené škůdci a chorobami rostlin, zpožděním polních prací, erozí půdy a také environmentálními problémy, jako jsou epidemie, výskyt patogenů listových hub a šíření patogenů přenášených půdou do nezasažených oblastí (Rosenzweig et al. 2001, Cai et al. 2015).



Co-funded by
the European Union



Hurikány, cyklóny a tajfuny, které často způsobují silné záplavy, jsou pravděpodobně nejničivějšími extrémními klimatickými jevy. Kombinují velmi silný vítr a velké množství srážek a často jsou spojeny se zvyšováním hladiny moří. V podmínkách změny klimatu je pravděpodobné, že se četnost a intenzita hurikánů v budoucnu změní, ale nejistota ohledně trendů zůstává vysoká a dopady jsou komplexní (Knutson a Tuleya 2004, Cai et al. 2015).

Sucha: Sucho je forma klimatického extrému, která je spojena především se suchým (tj. deficitem srážek) a horkým (tj. vysokou teplotou) počasím a v některých extrémních případech je doprovázena vlnami veder (Mishra a Singh 2010).

Sucho se rozšiřuje z meteorologických systémů do zemědělských systémů a může výrazně zhoršit množství a kvalitu vody, zemědělskou produkci (Calanca et al. 2007, Mishra a Singh 2010), potravinovou bezpečnost (Schmidhuber a Tubiello 2007) a ekonomiku (Wang et al. 2011) na místní, regionální i národní úrovni. "Zemědělské sucho" se týká nedostatku vláhy v nejsvrchnějším metru půdy (kořenová zóna), který má dopad na plodiny (Trenberth et al. 2007).

Sucho způsobuje ztráty v zemědělství v důsledku mnoha faktorů včetně tepelného stresu, hmyzu a nedostatku vody. Například ve střední a východní Evropě produktivita plodin během sucha obvykle klesá v důsledku šíření hmyzu (Eitzinger et al. 2013).

Očekává se, že sucha v některých oblastech, jako je jižní a střední Evropa, alpská oblast, střední část Severní Ameriky, oblast Středomoří, Austrálie, jižní Afrika, Mexiko a severovýchodní Brazílie, v budoucnu zesílí, ačkoli neexistují jednoznačné důkazy o tom, že by se sucha v posledních letech se změnou klimatu zvýšila nebo snížila (Calanca et al. 2007, Wang et al. 2011, IPCC 2012, Sheffield et al. 2012, Eitzinger et al. 2013, Cai et al. 2015).

Vlny veder jsou obvykle doprovázeny suchem a znamenají trvale zvýšené teploty, které nakonec představují stres pro rostlinnou a živočišnou výrobu (Lobell et al. 2013). Hospodářské ztráty způsobené vlnami veder jsou značné (Beniston 2009, García-Herrera et al. 2003). Například vlna veder v Evropě v roce 2003, která způsobila nejteplejší léto od roku 1540, způsobila 30% snížení hrubé primární produktivity v Evropě (Ciais et al. 2005). Na základě mnoha prognóz pro konec 21. století se očekává, že se vlny veder budou v budoucnu vyskytovat častěji (Meehl a Tebaldi 2004).

7.3. STRATEGIE/POLITIKY UDRŽITELNÉHO HOSPODAŘENÍ S VODOU V PODMÍNKÁCH ZMĚNY KLIMATU.



Co-funded by
the European Union



Možnosti přizpůsobení se změně klimatu budou nutně kombinovat investice, lepší nebo adaptivní řízení a změny nebo rozvoj politik, institucí a kapacit. Takové možnosti bude třeba uplatnit v různém měřítku: na polích a v zemědělských podnicích; v zavlažovacích systémech (zejména ve velkých systémech); v povodích nebo vodonosných vrstvách; v povodích (včetně přeshraničních povodí); a na národní úrovni (tabulka 2.6) (FAO 2013, Turrall et al. 2011). McGray et al (2007) a OECD (2009) uvádějí, že adaptační aktivity, které pokrývají kontinuum od rozvoje ke změně klimatu, lze rozdělit do čtyř kategorií. Tyto kategorie jsou následující:

Podpora lidského rozvoje: Tyto činnosti se zaměřují na snižování chudoby a na řešení faktorů, které činí lidi zranitelnými vůči škodám, bez ohledu na jejich příčinu.

Budování schopnosti reagovat: Tyto činnosti mají většinou charakter budování kapacit a zahrnují budování institucí a technologické přístupy převzaté z rozvojových snah.

Řízení klimatických rizik: Činnosti v této kategorii se zaměřují konkrétně na nebezpečí a dopady a řídí se koncepcí řízení klimatických rizik.

Jak čelit změně klimatu: Zaměřují se téměř výhradně na řešení dopadů změny klimatu. Činnosti v této kategorii se obvykle zaměřují na rizika spojená se změnou klimatu, která přesahují historickou proměnlivost klimatu.

7.3.1. Vyrovňování se s nedostatkem vody

Nedostatek vody je již dnes hlavní výzvou, které čelí zemědělství v mnoha povodích po celém světě. Očekává se, že v oblastech, kde je vody nedostatek, se v důsledku změny klimatu napětí ještě zhorší a zvýší se konkurence o vodu. Má-li zemědělství i nadále uspokojovat poptávku po potravinách a dalších komoditách, bude třeba vyvinout úsilí jak na straně nabídky, tak na straně poptávky (FAO 2013).

Zlepšení zásobování zahrnuje:

- lepší přístup ke konvenčním vodním zdrojům a lepší hospodaření s nimi;
- obnova stanovišť;
- provoz přehrady;
- opětovné využití drenážní a odpadní vody;
- převod vody mezi povodími;
- odsolování;
- a kontrolu znečištění.



Co-funded by
the European Union



Tabulka 7.6. Možnosti přizpůsobení se změně klimatu v oblasti vodního hospodářství v různých měřítcích (Zdroj: FAO 2013, Turrall et al. 2011)

Možnosti	Pole/farma	Zavlažovací schéma	Povodí/ vodonosná vrstva	Řeka povodí	Národní
1. Investice					
Na farmě voda skladování: shromažďování vody	+				
Vývoj podzemních vod	+				
Modernizace zavlažování infrastruktura		+			
Šlechtění na odolnost vůči sucha a záplavy	+				
Přehrada výstavba/rozšíření		+	+	+	
Odvodnění	+		+	+	
Zavedení vhodných druhů ryb	+		+	+	
2. Půda, voda a plodiny. řízení					
Zlepšení půda . retenční kapacita	+				
Změna vzoru oříznutí a diverzifikace	+				
Přizpůsobení ořezávání (a kalendář výlovu ryb)	+				
Doplňkové zavlažování x	+	+			
Deficitní zavlažování		+			
Střídání mokré a suché rýže výrobní systém	+	+			
Odvodnění a povodně řízení		+	+	+	
Provoz zavlažovacího systému zlepšení		+			



Co-funded by
the European Union



Integrované vodní zdroje řízení				+	
Adaptace z přeprada pravidla provozu				+	
Obnova břehových stanovišť nebo tvorba v řekách				+	
3. Politiky, instituce a budování kapacit					
Odolnost I&D proti klimatickým vlivům infrastruktura		+	+	+	
Přerozdělení z vody (mezi sektory nebo v rámci sektorů)	+	+	+	+	+
Posílení půda/voda správný přístup	+	+	+	+	+
Pojištění plodin	+		+	+	
Vylepšené stránky počasí předpovědní kapacita	+	+	+	+	+
Vylepšené stránky hydrologické monitorování				+	
Vývoj na povodně/sucha					+
Recenze potravin skladování strategie					+

Řízení poptávky je definováno jako soubor opatření, která řídí poptávku po vodě:

- buď zvýšením celkové ekonomické efektivity jeho využívání jako přírodního zdroje,
- nebo provozní vnitrodvětvové a meziodvětvové přerozdělování vodních zdrojů.

Je zapotřebí kombinace **technických, manažerských, právních a investičních** možností, které zemědělcům pomohou produkovat více s menším množstvím vody. Tyto možnosti musí být podpořeny politickým a motivačním rámcem, který zemědělce upozorní na nedostatek vody a odmění produktivnější využívání vody na úrovni zemědělských podniků (FAO 2013).

7.3.2. Budování odolnosti



Co-funded by
the European Union



Budování odolnosti zahrnuje snížení expozice zemědělců vůči šokům nebo jejich citlivosti na ně nebo zvýšení jejich schopnosti na ně reagovat. Primární význam má schopnost zvýšit tlumicí schopnost zemědělských systémů vůči proměnlivějším zdrojům dešťové vody. **To vyžaduje zvýšení schopnosti uchovávat vodu v půdě, v povrchových nebo podzemních nádržích.** Jakékoli opatření, které zvýší kapacitu přístupu k vodě v případě potřeby, zvýší odolnost vůči proměnlivosti klimatu (FAO 2013).

Tato opatření zahrnují (FAO 2013):

- sběr vody na farmě;
- zvýšení schopnosti půdy zadržovat vlhkost;
- zadržování vody na farmě a zvýšená infiltrace a,
- pokud možno systematictější přístup k podzemní vodě.

Doplňkové zavlažování v kritických obdobích sklizňové sezóny může snížit ztráty a zvýšit produktivitu.

7.3.3. Přizpůsobení na úrovni polí a zemědělských podniků

Adaptace na úrovni polí a farem zahrnuje (FAO 2013):

Účinnější zavlažovací technologie, které snižují ztráty způsobené odpařováním: Tato opatření kombinovat s přístupy deficitního zavlažování, aby se maximalizovala produktivita na objem aplikované vody spíše než na plochu pozemku.

Výběr plodin a změny v kalendáři plodin: To pomůže zemědělcům přizpůsobit se novým teplotám a srážkám. Přednostně se budou používat plodiny nebo odrůdy, které jsou odolnější vůči obdobím sucha.

Zvýšení diverzifikace zemědělství: Diverzifikace zemědělství, včetně lepší integrace stromů, plodin, ryb a hospodářských zvířat, sníží riziko a zvýší odolnost zemědělských systémů. Zejména chov a rybolov vodních druhů, které nevyžadují rozsáhlé migrace a které mají širokou toleranci vůči prostředí, pomůže akvakultuře a rybolovu ryb přizpůsobit se novým klimatickým podmínkám.

Systematictěji přijímat opatření reagující na častější povodně a intenzivnější srážky: Zemědělci budou muset také systematictěji přijímat opatření, která budou reagovat na častější záplavy a intenzivnější deště. Bude zapotřebí kombinace protierozních opatření a lepších odvodňovacích kapacit.

7.3.4. Přizpůsobení na úrovni zavlažovacího systému



Co-funded by
the European Union



Adaptace na úrovni zavlažovacích systémů se zaměřuje na (FAO 2007, FAO 2013):

Modernizace zavlažovacích systémů: Opatření pro přizpůsobení se změně klimatu v zavlažovacích systémech je třeba posuzovat v celkovém kontextu modernizace zavlažovacích systémů. Moderní zavlažovací systémy vyžadují lepší mechanismy přidělování vody, jasné předávání varování o nedostatku vody zemědělcům a přizpůsobení infrastruktury i řízení pro pružnější a spolehlivější dodávky vody (FAO, 2007).

Meziskladování v rámci zavlažovacího systému a pokud možno přístup k podzemní vodě: Tyto možnosti jsou součástí možností, jak zvýšit odolnost a spolehlivost dodávek vody, a musí být zohledněny v adaptačních plánech pro zavlažovací systémy.

Stanovení cen vody a vytvoření trhů s vodou: Tyto nástroje jsou často obhajovány jako nástroje řízení poptávky, které podporují lepší využívání vody a snižují její plýtvání. Ačkoli se tyto možnosti na některých místech ukázaly jako účinné, jejich použití je často obtížné z kombinace technických, institucionálních a politických důvodů. Existují i jiné možnosti, jako je omezení sezónních přidělů uživatelům nebo skupinám uživatelů, které mohou být jednodušší a účinnější pro vyvolání produktivnějšího chování při využívání vody.

7.3.5. Adaptace na úrovni povodí, povodí a na národní úrovni

Přizpůsobení se změně klimatu na vyšších úrovních bude zahrnovat kombinaci úprav politiky a investic do infrastruktury a řízení. V povodích řek bude zvýšená četnost a intenzita extrémních povětrnostních jevů vyžadovat úpravy skladovací kapacity a řízení přehrad a ochranných říčních děl (FAO 2013).

Plány pro zvládání povodní: Plány pro zvládání povodní budou muset kombinovat modernizaci infrastruktury s nestructurálními, informačně bohatými přístupy, které mohou lépe zmírnit dopady povodní prostřednictvím kombinace **územního plánování, včasného varování a pojistných systémů** (FAO 2013).

Plány pro zvládání sucha: Podobně bude třeba přejít od reakce na mimořádné události způsobené suchem k plánům zvládání sucha, které zahrnují **prevenci, připravenost, pomoc a obnovu a dlouhodobá opatření ke zmírnění dopadů** sucha (FAO a NDMC, 2008, FAO 2013).

Odrůdy pěstovaných plodin pro přizpůsobení se povodním a suchu: Ve všech těchto případech by se měly systematicky zvažovat přístupy k adaptaci na povodně a sucho, které používají vodohospodáři a zemědělské komunity. Pro snížení závažnosti dopadů povodní a



Co-funded by
the European Union



zajistit protierozní ochranu, živiny, stín a kyslík, bude také zapotřebí inženýrské řešení a obnova stanovišť. Tím se také vytvoří vhodné prostředí pro produkci ryb (FAO 2013).

Integrované řízení vodních zdrojů v povodích: Integrované hospodaření s vodními zdroji v povodích bude stále důležitější, protože kombinace zvýšeného využívání vody a výskytu extrémních událostí zvýší vzájemnou závislost lidí a komunit žijících v povodí a protože opatření v jedné části povodí budou mít dopad na lidi dále po proudu. V místech, kde změna klimatu přispívá ke zvýšenému nedostatku vody, bude třeba zvážit celý soubor možností zvýšení nabídky a řízení poptávky (FAO, 2012). Bude zapotřebí zlepšit správu využívání půdy a vody, aby bylo možné přizpůsobit se mnohostrannému využívání vody, včetně využívání vody pro hospodářská zvířata a ryby (FAO, 2013).

Zlepšení předpovědi počasí a hydrologického monitorování: Zlepšení předpovědi počasí a hydrologického monitoringu se stane rozhodujícím prvkem moderních adaptačních strategií (Faurès et al., 2010). Postupné zlepšování načasování a spolehlivosti sezónních předpovědí však zemědělským komunitám nabízí nové příležitosti. Vzhledem k tomu, že se úsilí zaměřuje na zlepšení přesnosti těchto předpovědí, měl by se nyní klást větší důraz na zlepšení způsobu předávání informací zemědělcům a na budování jejich schopnosti co nejlépe využívat klimatické informace (Gommes et al. 2010). Prioritou zůstává monitorování a včasné varování v průběhu sklizňového období, které zemědělcům pomáhá činit informovaná rozhodnutí (FAO 2013).

Pojištění: Pojistky představují potenciální řešení, které by mělo být rovněž systematicky zvažováno jako součást adaptačních strategií. Národní systémy pojištění úrody by měly být kriticky přehodnoceny pro případ katastrof způsobených extrémními klimatickými jevy, jako jsou povodně, sucho, škody způsobené krupobitím atd. Úloha národních vlád při podpoře pojištění plodin musí odrážet národní zájmy a zároveň zajistit bezproblémové fungování soukromých pojišťoven. To musí být založeno na konceptu sdíleného rizika mezi producenty, pojišťovnami a vládami (FAO 2013).

7.3.6. Podmínky pro úspěšnou adaptaci

Adaptace na změnu klimatu musí být začleněna do programů rozvoje venkova i programů pro boj s nedostatkem vody a nesmí být prováděna odděleně. Politiky v oblasti vody, půdy a potravin musí být více sladěny a nahlíženy z perspektivy změny klimatu. Zejména cíle v oblasti zemědělství a rozvoje venkova musí být zahrnuty do plánování v oblasti vod a musí zohledňovat



Co-funded by
the European Union



zohlednění dalších odvětví využívání vody. Je také třeba navázat na strategie řízení rizik katastrof, které z velké části přímo souvisejí s hospodařením s vodou (FAO 2013).

7.3.7. Hospodaření s vodou pro zmírnění změny klimatu

Zavlažované zemědělství představuje pouze 20 % plochy světového zemědělství, ale je intenzivněji obhospodařováno. Zavlažované zemědělství používá v průměru větší množství anorganických hnojiv a dalších agrochemikálií než většina dešťových systémů. V důsledku toho je pravděpodobné, že snahy o snížení skleníkových plynů prostřednictvím lepších postupů hospodaření s plodinami budou mít větší dopad na zavlažované půdy než na dešťové oblasti (FAO 2013).

Podzemní voda se používá k zavlažování na 38 % veškeré zavlažované půdy. Využívání podzemní vody se rozšiřuje (Siebert et al. 2010), což zvyšuje spotřebu fosilních paliv a zvyšuje energetické náklady na zásobování vodou (FAO 2013).

Emise metanu (CH₄) ze zemědělství představují více než 50 % emisí CH₄ z lidské činnosti. Třetina těchto emisí pochází ze zaplavované produkce rýže. Pokud plocha zavlažované rýže poměrně rychle roste, očekává se, že budoucí nárůst emisí CH₄ z rýžových polí bude malý (HLPE, 2012).

Emise během vegetačního období lze snížit používáním různých postupů hospodaření s vodou, jako je pěstování aerobní rýže, a pokud to podmínky umožňují, střídavým zvlhčováním a vysoušením. Účinnými možnostmi zmírnění emisí CH₄ z rýžových polí je zamezení nasycení vodou v době, kdy se rýže nepěstuje, a zkrácení doby nepřetržitého zaplavování během vegetačního období rýže. V současné době bývají výnosy skutečné aerobní rýže nízké (méně než 2 tuny na hektar), což silně odrazuje od jejího zavádění, i když jsou podmínky přirozeného odvodnění příznivé (Comprehensive Assessment 2007). Aerobní rýže šetří vodu a může případně snížit emise oxidu dusného (HLPE 2012).

Jednou z nejučinnějších metod snižování emisí uhlíku v zavlažovaných oblastech může být využívání udržitelných zdrojů energie, jako je solární nebo větrná energie, namísto fosilních paliv pro čerpání energie.



Co-funded by
the European Union



KAPITOLA 8

UDRŽITELNÉ ŘÍZENÍ ZAVLAŽOVÁNÍ V PODMÍNKÁCH ZMĚNY KLIMATU

8.1. ÚVOD DO ZAVLAŽOVÁNÍ

Souběžně s rychlým nárůstem světové populace se zvyšují i výživové potřeby lidí. Odhaduje se, že do roku 2050 bude třeba zvýšit zemědělskou produkci přibližně o 60 %, přičemž se očekává, že počet obyvatel přesáhne 10 miliard. Pro zvýšení produkce plodin je proto nutné zvýšit výnosy z jednotek plochy. V suchých a polosuchých oblastech, kde je nedostatek srážek, však mnoho kulturních rostlin buď neroste, nebo jich roste velmi málo. To omezuje množství rostlinné produkce. Tento problém lze překonat pouze pomocí zavlažovacích postupů (FAO 2010).

Zavlažování: Obecně se jedná o aplikaci vody do půdy určitými metodami v případě, že voda potřebná pro ideální vývoj rostlin nemůže být zajištěna srážkami.

Voda je pro zemědělskou produkci klíčovým vstupem a hraje důležitou roli v zajišťování potravin. Zavlažované zemědělství představuje 20 % celkové obdělávané plochy na světě. Kromě toho se zavlažované zemědělství podílí na 40 procentech celkové světové produkce potravin. Zavlažované zemědělství je nejméně dvakrát produktivnější na jednotku půdy než nezavlažované zemědělství. Je tedy možné zajistit větší produkci a rozmanitost produktů.

Pokud se v rostlinné výrobě správným plánováním odstraní nedostatek vláhy v půdě, dojde k výraznému zvýšení produktivity rostlin. Tím se zvýší blahobyt regionálních producentů. Kromě tohoto zvýšení produktivity je díky zavlažování možné také odplavení přebytečných solí v půdě a změkčení podkladového kamene.

Předpokládá se, že zemědělská produkce se v nadcházejících letech v důsledku změny klimatu sníží. Potravinová bezpečnost znamená, že každý člověk má vždy přístup k dostatečnému množství kvalitních potravin. Udržitelná produkce potravin je jedním z nejdůležitějších prvků potravinové bezpečnosti. Jednou z nejdůležitějších zásad udržitelného zemědělství je rozumné hospodaření s půdou a vodou.

Na Světovém potravinovém summitu v roce 1996 předpověděla Organizace pro výživu a zemědělství (FAO), že 60 % dalších potravin potřebných v budoucnosti by mělo pocházet ze zavlažovaného zemědělství. Mezinárodní komise pro zavlažování a odvodňování (ICID) odhaduje, že současná produkce potravin se bude muset v příštích 25 zdvojnásobit. Strategie ICID pro realizaci

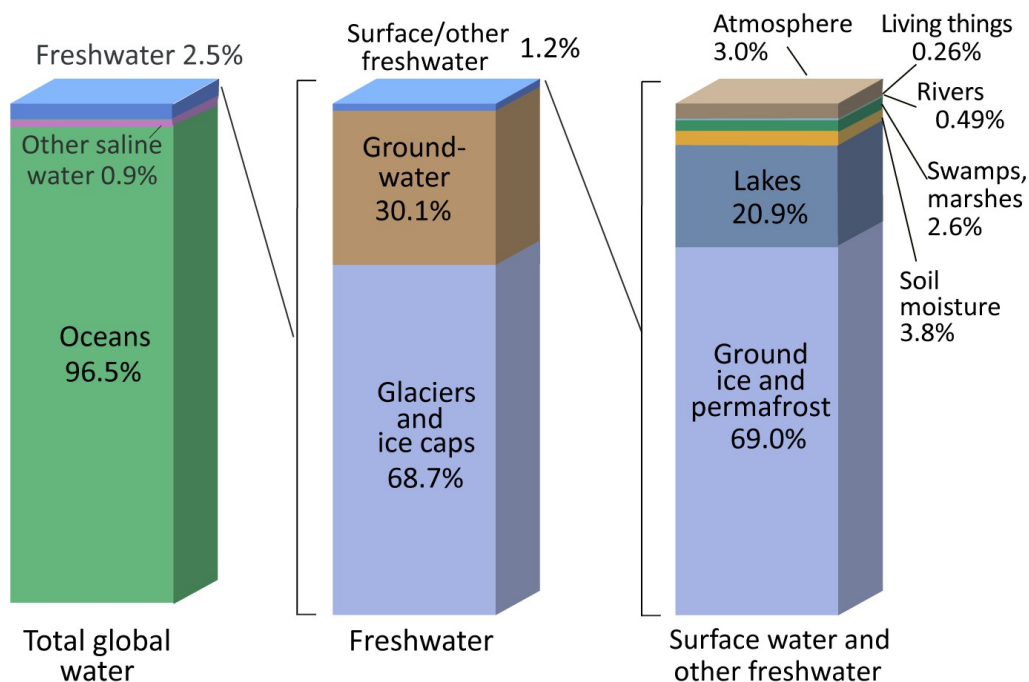
Vize "Voda pro potraviny" odkazuje na stejný odhad FAO o úloze zavlažovaného zemědělství pro udržení budoucích světových dodávek potravin (FAO 2003).

Zvyšování produkce potravin prostřednictvím zavlažování je velmi důležité. Je třeba rozšířit zavlažované plochy a vodní zdroje a zvýšit účinnost využívání stávajících vodních zdrojů. Pokud se však nepodaří uspokojit potřeby produkce potravin prostřednictvím účinného rozšiřování a intenzifikace zavlažovaného zemědělství, zvýší se tlak na půdní zdroje a urychlí se proces degradace životního prostředí (Carruthers, 1997).

8.1.1. Zavlažování ve světě, Evropě a Turecku

Přibližně 97,5 % vody na světě tvoří slaná voda. Zbývajících 2,5 % tvoří sladká voda. Přibližně 68,7 % sladké vody se nachází v ledovcích, 30,1 % pod zemí a 1,2 % na povrchu (obr. 3. 1). Povrchová voda uspokojuje téměř všechny potřeby vody pro život.

Where is Earth's Water?



Credit: U.S. Geological Survey, Water Science School. <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school>
Data source: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. (Numbers are rounded).

Obrázek 8. 1. Světový vodní potenciál (Source: https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth#:~:text=About%2071%20percent%20of%20the,in%20you%20and%20vého%20psa.)).



Co-funded by
the European Union



Zemědělství dnes spotřebovává (v průměru) 70 % všech odběrů sladké vody na světě. V ostatních odvětvích tvoří domácí spotřeba 11 % a průmyslová spotřeba 19 %. Podle údajů FAO z roku 2021 dosáhla celková plocha půdy vhodné pro zavlažování na celém světě 22 % celkové světové obdělávané plochy s 352 miliony hektarů, což představuje nárůst o přibližně 20 % za posledních 20 let (FAO 2023a). Když se podíváme na rozložení těchto 352 milionů hektarů zavlažovatelné půdy mezi kontinenty, na prvním místě je Asie s 248,2 miliony hektarů. Severní a Střední Amerika je na 2. místě s 36,3 miliony ha, Evropa na 3. místě s 27,2 miliony ha, Jižní Amerika na 4. místě s 19,3 miliony ha, Afrika na 5. místě se 17 miliony ha a konečně Oceánie na 6. místě s 3,3 miliony ha, (FAO 2023a).

Na evropském kontinentu, kde se Turecko nachází, je 273 milionů hektarů orné půdy. Přibližně 10 % z tohoto množství, tj. 27,2 mil. ha, tvoří zavlažovaná půda (FAO 2023a). Pokud se podíváme na země EU-28, mají 166 milionů hektarů orné půdy. Z této plochy tvoří 11,3 %, tj. 18,6 mil. ha, zavlažitelná plocha. Pro zavlažování bylo otevřeno 10,2 mil. ha půdy. Když se podíváme na země, které své zavlažovatelné plochy otevřely pro zavlažování, na prvním místě je Řecko se 77 %. Itálie, která má významné zemědělské oblasti, zavlažuje 72 %, Francie 51 % a Španělsko 43 % svých zavlažitelných ploch (EUROSTAT 2016). v úvahu země, které jsou významnými producenty ovoce na těchto zavlažovaných plochách, činí míra zavlažování ovocných stromů přibližně 80 % a míra zavlažování vinic přibližně 30 %. Zatímco u pšenice se tato hodnota pohybuje kolem 10 %, u kukuřice je to více než 50 %.

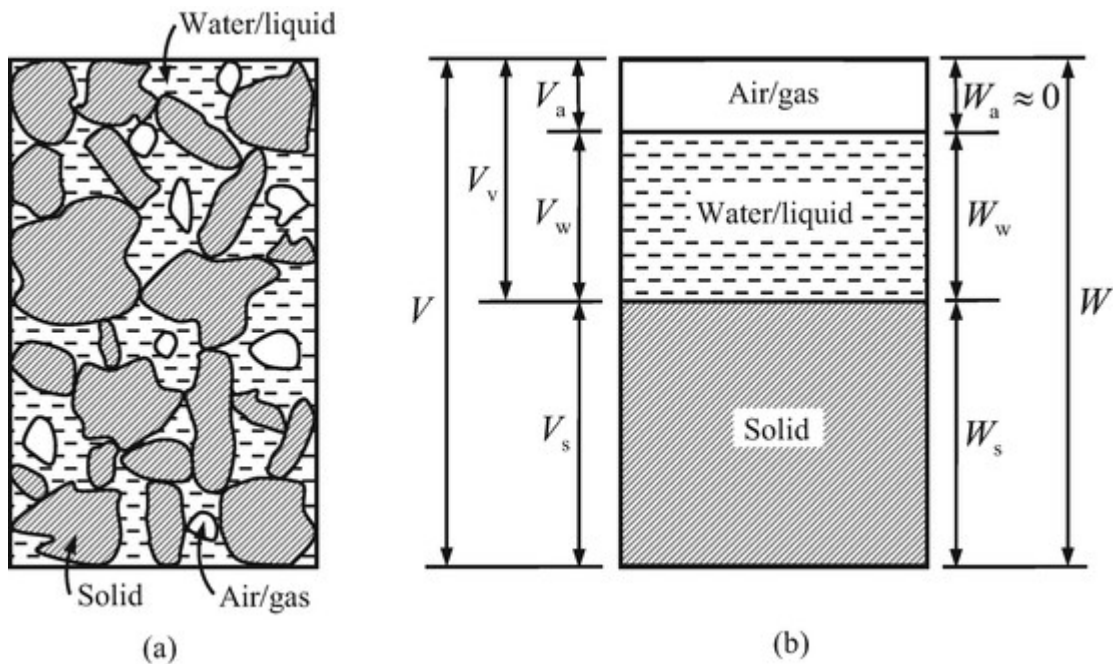
Turecko má rozlohu 78 milionů hektarů a 24 milionů hektarů z této plochy tvoří zemědělská půda. Podle provedených studií je množství zemědělské půdy, kterou lze zavlažovat při současném vodním potenciálu, vypočteno na 8,5 milionu hektarů. Do konce roku 2019 bylo pro zavlažování otevřeno 6,65 milionu hektarů půdy a podíl aktuálně zavlažované půdy na potenciálně celkové zavlažované půdě dosáhl 78 %. V současné době probíhají práce na 1,85 milionu hektarů půdy (DSI 2023).

8.2. PŮDA A VODA

Pro dobrý vývoj kořenů je zásadní přiměřená rovnováha mezi vzdušnou a vlhkostní vlhkostí v půdě. Pokud je tato rovnováha dobře nastavena, zvyšuje se objem produkce; pokud je rovnováha narušena, dochází k vážným ztrátám produktivity.

Půda je struktura skládající se ze tří fází. Jedná se o pevnou, kapalnou a plynnou fázi. Pevná fáze se skládá z anorganických a organických částic. Kapalná fáze představuje půdní vodu a

plynná fáze představuje půdní vzduch. Kapalná a plynná fáze tvoří prázdný objem mezi pevnými zrny (obr. 8. 2a-2b).



Obrázek 8. 2. a) podoba tří fází v půdě b) fázový diagram půdy (zdroj: Shukla 2017).

Struktura půdy: Je to poměrné množství půdních skupin různé velikosti, jako je jíl, bahno a písek, které tvoří anorganickou část půdy. Průměr těchto skupin je menší než 2 mm. Velikost jílu je menší než 0,002 mm. Velikost zrn jílu se pohybuje v rozmezí 0,002-0,05 mm. Velikost zrn písku se pohybuje mezi 0,05-2 mm. Hlinité půdy se nazývají půdy s těžkou strukturou, písčité půdy se nazývají půdy s lehkou strukturou a hlinité půdy se nazývají půdy se střední strukturou.

Struktura půdy: Je to seskupení, uspořádání a seskupení půdních zrn, která tvoří pevnou fázi půdy. Se strukturou úzce souvisí hydraulická vodivost a propustnost půdy, schopnost zadržovat vodu, provzdušnění, snadnost obdělávání půdy, vhodnost pro rostlinné živiny, činnost mikroorganismů, vývoj kořenů rostlin, a tedy produktivita půdy.

Pevná, kapalná a plynná fáze vzorku půdy jsou schematicky znázorněny na obrázku 4.2b. Objemy jsou znázorněny symbolem V a hmotnosti symbolem W . Abychom mohli lépe definovat fyzikální podmínky a vlastnosti půdy, je nutné přistupovat k těmto třem fázím, jako by byly od sebe odděleny, a vysvětlit některé základní fyzikální vlastnosti a vztahy mezi nimi.



Co-funded by
the European Union



Hustota pevných částic (měrná hmotnost půdy): Je to poměr hmotnosti pevných částí půdy v určitém objemu k hmotnosti stejného objemu čisté vody. Je to míra, která vyjadřuje hustotu půdy. Měrná hmotnost se může lišit v závislosti na faktorech, jako je minerální složení půdy a přítomnost kapilární vody.

Objemová hmotnost půdy (sypaná hmotnost): Je to poměr vysušeného (v sušárně vysušeného) vzorku půdy k objemu vzorku. Objemová hustota se mění v závislosti na faktorech, jako je zhuštění půdy, obsah vlhkosti a minerální složení. Nízká objemová hmotnost představuje lehké, sypké půdy; vysoká objemová hmotnost značí zhuštělé, husté půdy.

Pórovitost: Pórovitost označuje podíl dutin v půdě a měří množství prostoru mezi částicemi půdy. Obvykle se vyjadřuje v procentech (%). Pórovitost je důležitá pro ukládání a pohyb vody v půdě. Vysoká pórovitost znamená volnější strukturu půdy, kde je možný větší pohyb vody a vzduchu.

Poměr pórů: poměr pórů je poměr objemu pórů (voda + vzduch) v určité půdní hmotě k objemu pevné části hmoty.

Stupeň nasycení: Stupeň nasycení udává, do jaké míry je půda naplněna vodou. Obvykle se vyjadřuje v procentech (%). Pokud je nasycení 100 %, je půda zcela zaplněna vodou.

Měření a kvantifikace půdní vlhkosti je velmi důležité pro plánování doby zavlažování a stanovení množství vody, které má být aplikováno. Půdní vlhkost lze z hlediska zavlažování vysvětlit různými způsoby.

Gravimetrická vlhkost: Je to hmotnost vody v určité půdní hmotě.

Objemová vlhkost: Je to poměr objemu vody v určité půdní hmotě k celkovému objemu vzorku.

Vlhkost v hloubce: Označuje hloubku vody na jednotku hloubky půdy.

Napětí půdní vlhkosti: Je to schopnost půdních částic zadržovat vodu v půdě. S klesající vlhkostí půdy se zvyšuje schopnost půdy zadržovat vodu.

Z hlediska zavlažovacích postupů je nutné určit schopnost půdy zadržovat vodu na určitých místech. V těchto vědecky uznávaných bodech, nazývaných konstanty půdní vlhkosti, které zcela souvisejí s fyzikálními vlastnostmi půdy, je vlhkost zadržována v různém napětí. V této souvislosti se vysvětluje, že voda v půdě se udržuje při 4 různých napětích, kterými jsou;



Co-funded by
the European Union



- 1. Bod nasycení:** Bod nasycení je horní hranice vlhkosti půdy. Je to bod, kdy jsou všechny póry v půdě zaplněny vodou a půda ji již nedokáže zadržet. Zadržování vody v půdě je nulové.
- 2. Kapacita pole:** Kapacita pole je maximální množství vody, které je půda schopna udržet proti gravitaci. Jinými slovy, je to bod, kdy půda udrží vlhkost pod napětím 1/3 atm proti gravitaci. Polní kapacita je důležitý parametr, je to bod nejvyšší vlhkosti pro využití vody rostlinami.
- 3. Bod vadnutí:** Bod vadnutí je vlhkost, při které půda zadržuje vodu při průměrném napětí 15 atm a rostliny nemohou přijímat vodu nad tímto bodem. Představuje spodní hranici využití vody rostlinami. Tento stav je definován jako bod, kdy rostliny vadnou a dochází k fyziologickému odumírání, i když se vlhkost půdy zvýší.
- 4. Sušené v troubě:** Sušená v peci označuje stav půdy, která je zcela vysušena zahřátím v peci, aby se odstranila veškerá vlhkost. Sušení se provádí při teplotě 105 °C po dobu 24 hodin, aby se zajistilo odpaření veškeré vody z půdy. Půda vysušená v peci se používá jako referenční hodnota pro výpočet různých vlhkostních vlastností půdy.

Po konstantách půdní vlhkosti je třeba uvést několik definic, které s nimi souvisejí.

Přebytečná voda: Je to voda mezi kapacitou pole a bodem nasycení, která volně odtéká pod vlivem gravitace.

Dostupná voda pro rostliny: Rostliny mohou využít vodu v rozmezí mezi polní kapacitou a bodem vadnutí. Dostupná voda je rozdíl mezi aktuální vlhkostí půdy a bodem vadnutí.

Dostupná kapacita pro zadržování vody: Dostupná vodní kapacita je rozdíl vlhkosti mezi polní kapacitou a bodem vadnutí.

Hygroskopická voda: Je to vlhkost půdy, která je v půdě udržována tak pevně, že ji rostliny nemohou vstřebat svými kořeny. V podstatě ji rostliny nemohou využít. Hygroskopická voda je vlhkost, která se nachází v půdě v oblasti mezi bodem vadnutí a suchem.

8.2.1. Půdní vlhkost a její měření

Půdní vlhkost je důležitým faktorem pro vývoj rostlin při zavlažovacích pracích. Přesné stanovení vlhkosti umožní plánování doby zavlažování a přesné určení množství závlahové vody. Existují různé metody a nástroje pro měření půdní vlhkosti. Mezi běžné techniky měření půdní vlhkosti patří např:

- 1. Gravimetrická metoda:** Při této metodě se vzorky půdy odebírají každých 30 cm šneku (obrázek 8.3), zváží se a vysuší v sušárně, aby se odstranila stávající vlhkost. Půda vysušená v sušárně se poté znovu zváží a stanoví se obsah vlhkosti. Tato metoda poskytuje nejpřesnější výsledky, ale je časově a pracovně náročná.



Obrázek 8.3. a) odběr vzorku šnekem, b) sušení vzorku v sušárně (foto: Erhan GOCMEN)

- 2. Tenzometry:** Tenzometry jsou přístroje, které měří matriční potenciál půdy, což je energie potřebná k tomu, aby rostlina mohla přijímat vodu z půdy svými kořeny. Hrot přístroje je propustný. Z vrcholu se plní čistou vodou. Je těsně uzavřena nepropustnou zátkou. Půdní matriční potenciál se měří v centibarech (cbar) nebo kilopascálech (KPa) pomocí monometru umístěného v horní části průhledné trubice, která tvoří tělo přístroje. Jsou vhodné pro měření půdní vlhkosti v rozsahu, ve kterém rostliny přístup k vodě. Může měřit až do přibližně 85 cbar. Vyrábějí se v různých hloubkách (obrázek 8.4).



Obrázek 8.4. Tensiometr (foto: Erhan GOCMEN)

3. Bloky elektrického odporu (vodoznak): Při provozu dochází k neustálé absorpci nebo uvolňování půdní vlhkosti a ke změnám elektrického odporu mezi elektrodami. Tento odpor je odečítán čtecím zařízením a je stanoven matriční potenciál půdy v cbar nebo Kpa (obrázek 8.5). Jeho největší výhodou oproti tenzometru je, že může měřit až 200 cbar. Lze je umístit do různých hloubek.



Obrázek 8.5. Bloky elektrického odporu (vodoznak) (Foto: Erhan GOCMEN)

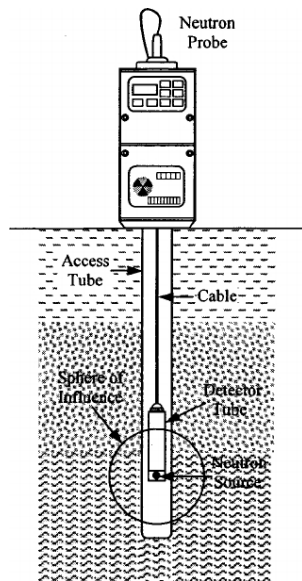
- 4. Reflektometrie v časové doméně (TDR):** TDR jsou zařízení, která vysílají elektromagnetické vlny ze sondy umístěné v zemi a měří čas, za který se vlny odrazí zpět (obrázek 8.6). Obsah vlhkosti v půdě se měří na základě ovlivnění rychlosti oběhu těchto vln. Jsou umístěny v požadované hloubce.



Obrázek 8.6. Měřič půdní vlhkosti TDR. (Zdroj: Foto: Maja Krzic, University of British Columbia, Vancouver BC. Přístup: <https://labmodules.soilweb.ca/time-domain-reflectometry/> 13.10.2023)

- 5. Reflektometrie ve frekvenční oblasti (FDR):** FDR je podobná TDR, ale pracuje na jiných frekvencích. Měří dielektrickou konstantu půdy. Umísťují se do měřených hloubek.
- 6. Neutronový měřič:** Tyto přístroje využívají rozptyl neutronů k odhadu vlhkosti půdy. Přístroj se skládá z radioaktivního materiálu a kontrolní obrazovky připojené ke koncovce kabelu (obrázek 8.7). V půdě se otevřou otvory o průměru přibližně 6 cm a do nich se umístí hliníkové trubice požadované délky s vysokou propustností neutronů. Díky radioaktivní látce spuštěné do požadované hloubky pomocí kabelu dojde k její aktivaci přes ovládací stínění a ke spuštění emise neutronů. Neutrony se zpomalí tím, že narazí na vodíky ve vodě v půdě. Tyto zpomalené neutrony se odrážejí zpět a detektor je počítá. Přístroj, který je kalibrován v nádrži plné vody, aniž by prováděl jakékoli odečty, vyhodnotí podle toho přicházející data a udává množství vlhkosti. Je mimořádně citlivý a ve srovnání s jinými přístroji na měření vlhkosti.

poskytuje přesnější výsledky, protože měří větší plochu v půdě. Vzhledem k použití záření však obvykle vyžadují speciální školení a licenci.



Obrázek 8.7. Schéma neutronového měřidla (Zdroj: Li et al. 2003).

7. Dálkový průzkum Země: K odhadu vlhkosti půdy na velkých lze použít technologie dálkového průzkumu, jako jsou satelity a letecké snímky. Vlhkost na velkých lze získat v kratším čase a s nižšími náklady.

8.2.2. Pohyb vody v půdě

Stav, kdy jsou prostory v půdě zcela zaplněny vodou, se nazývá nasycení. Není však možné, aby byl půdní profil zcela zaplněn vodou. Dochází totiž k určitému stlačování vzduchu. Zcela nasycených podmínek je však dosaženo ve svrchní části půdního profilu. Směr proudění je z oblasti s vyšším vlhkostním potenciálem matrice do oblasti s nižším vlhkostním potenciálem matrice.

Stav, kdy dutiny v půdě nejsou zcela zaplněny vodou, se nazývá nenasyčený stav. V těchto podmínkách je směr proudění z oblasti s nižším potenciálem matrice do oblasti s vyšším potenciálem vlhkosti matrice.

Při zavlažování se voda dostává do půdy infiltrací a gravitačně a kapilárně se pohybuje směrem dolů. Po ukončení zavlažování začne docházet k odpařování z horní vrstvy půdy. Rostliny využívají vodu v oblasti pod touto horní vrstvou (přibližně 15-45 cm) prostřednictvím svých kořenů. V této oblasti se voda pohybuje směrem ke kořenům a velmi malé množství k horní odpařovací zóně. Většina vlhkosti v oblasti 45-90 cm



Co-funded by
the European Union



kde se nachází sekundární kořenová zóna, je směrem ke kořenům a dolů. Do spodní vrstvy může unikat jen velmi málo. Podmínkou, která umožňuje rostlinám přijímat vodu, je vysoké osmotické napětí. Pokud je vysoké osmotické napětí větší než napětí v půdě, rostlina přijímá vodu kapilárními kořeny. Naopak, pokud je napětí půdy větší než osmotický tlak, rostlina začne vadnout.

Infiltrace: Je to pohyb vody z povrchu půdy do půdy. Množství vody, které se dostane do půdy za jednotku času, se nazývá míra infiltrace.

Faktory ovlivňující míru infiltrace:

- Struktura půdy,
- Struktura půdy,
- Rozložení velikosti a geometrie pórů,
- Obsah organické hmoty v půdě,
- Vegetace,
- Stupně bobtnání jílu a jiných koloidů,
- Počáteční stav vlhkosti půdy,
- Topografická situace (tvar povrchu půdy).

Míra infiltrace je vysoká v půdách s lehkou strukturou a nízká v půdách s těžkou strukturou.

Míra infiltrace se určuje pomocí dvouválcových infiltračních testů. Materiál, který se při zkoušce použije, jsou dva do sebe vložené válce (obrázek 8.8). Vnější válec má průměr 40 cm a vnitřní válec má průměr 20-25 cm. Jejich výška je 40 cm. Válce jsou poháněny přibližně 15-20 cm. Poté se naplní vodou. Množství vody ubývající v určitém čase se zjišťuje a zaznamenává pomocí stopky z vnitřního válce. Při jeho poklesu se voda do válců neustále doplňuje a zaznamenává. Toto měření trvá nejméně 5 hodin. Například rychlost příjmu vody 10 mm/h znamená, že infiltrace vody o výšce 10 mm nad povrchem půdy trvá jednu hodinu.



Obrázek 8.8 Provedení infiltrační zkoušky (Zdroj: [//americangeoservices.com/soil-infiltration-testing.html](https://americangeoservices.com/soil-infiltration-testing.html), Přístup: 29.09.2023)

8.3. POTŘEBA VODY PRO PLODINY

Pokud není možné pokrýt potřebu vody pro rostliny srážkami, zbývající množství se zajistí zavlažováním.

Určení potřeby vody pro zavlažování rostlin;

- Spotřeba vody v závodě,
- Efektivní srážky a
- Je třeba stanovit účinnost zavlažování.

Spotřeba vody rostlinami (evapotranspirace): Je to součet výparu z povrchu půdy a transpirace z listů rostlin vyjádřený v mm.

Množství vody spotřebované rostlinou se liší v závislosti na půdě, typu rostliny a klimatických podmínkách. Mezi některými klimatickými parametry a spotřebou vody rostlinami existuje úzký vztah:

- Se zvyšující se teplotou se zvyšuje spotřeba vody v rostlinách.
- S rostoucí rychlostí větru se zvyšuje spotřeba vody v rostlinách.
- S rostoucí délkou slunečního svitu se zvyšuje spotřeba vody v rostlinách.
- Se zvyšující se relativní vlhkostí klesá spotřeba vody v rostlinách.

Při hodnocení vlastností půdy se spotřeba vody rostlinami zvyšuje s rostoucím výparem, zejména při hodnotách vlhkosti nad polní kapacitou. Stejně tak při hodnotách vlhkosti pod hodnotami polní kapacity bude množství výparu klesat s tím, jak se bude snižovat vlhkost půdy.



Co-funded by
the European Union



zvyšuje se sání půdní matrice. Obdělávání půdy zvýší spotřebu vody rostlinami. Pokrytí půdy vegetací zajistí zastínění a sníží množství výparu.

Například velikost listů a počet pórů ovlivňují spotřebu vody rostlinami. Důležitou roli při spotřebě vody hrají také vývojová stadia rostlin. S růstem rostliny se zvyšuje množství transpirace z listů. S vývojem rostliny se však množství výparu z povrchu půdy snižuje, protože se zvyšuje míra zastínění. V raných fázích vývoje rostliny je výpar výrazně vyšší než transpirace. S rozvojem vegetace se míra transpirace zvyšuje, a když dosáhne nejvyšší, je transpirace vyšší než hodnoty výparu. Délka vegetačního období ovlivňuje spotřebu vody rostlinou, čím delší je období vývoje, tím delší je evapotranspirace. Evaporaci lze stanovit různými metodami.

Metody přímého měření

Přestože metody přímého měření poskytují lepší výsledky, jsou poměrně nákladné a časově náročné. Z tohoto důvodu se přímé měření spotřeby vody v rostlinách provádí pouze pro účely kalibrace predikčních rovnic z klimatických údajů a zjištění místních koeficientů pro rostliny (Gungor et al. 2004).

- Nádrže a lyzimetry
- Polní pokusné plochy
- sledování poklesu vlhkosti v půdě a
- Měření průtoku do povodí a z povodí.

Metody předpovědi z klimatických dat

Skutečnost, že metody přímého měření jsou nákladné a časově náročné, vedla k vývoji metod odhadu. Existují metody, které odhadují spotřebu vody v závodě na základě několika málo klimatických údajů, existují však i komplexní metody, které jsou přesnější a využívají mnoho klimatických údajů.

Při odhadu spotřeby vody v závodě se nejprve stanoví referenční spotřeba vody v závodě. Poté se spotřeba vody referenční rostliny opraví vynásobením hodnot koeficientu rostliny (k_c), který se získá s ohledem na vlastnosti rostliny.

$$ET = k_c \times ET_0$$

8.1

Kde,

ET : spotřeba vody v rostlinách, mm/den



Co-funded by
the European Union



k_c = experimentálně získaný koeficient úrody,

ET_0 = spotřeba vody v referenční rostlině, mm/den.

Spotřeba vody u referenčních plodin: Jedná se o spotřebu vody referenční rostliny, která může vzniknout u dobře zavlažované, aktivně rostoucí referenční rostliny (trávy).

Přestože v praxi existuje mnoho metod a empirických rovnic, mezi nejčastěji používané patří metoda odpařování z pánve třídy A a Penmanova-Monteithova metoda.

Referenční spotřebu vody v rostlinách lze také stanovit z odpařovacích nádob umístěných na poli. Předpokládá se, že všechny klimatické parametry, které způsobují odpařování z nádoby, ovlivňují také spotřebu vody rostlin. Výsledky získané touto metodou jsou poměrně zdravé. Získané hodnoty denního výparu se korigují koeficientem výparné nádoby získaným podle místních podmínek a získá se spotřeba vody rostlin.

$$ET = k_p \times E_p \quad 8.2$$

Kde,

ET : spotřeba vody v rostlinách, mm/den

$K_{(p)}$ = Koeficient pánve získaný podle místních podmínek,

E_p = denní výpar z pánve, mm/den.

Odpařovací nádoba třídy A se skládá z válce s otevřenou horní částí o průměru 121 cm a výšce 25,5 cm, který je vyroben z pozinkovaného plechu o tloušťce 2 mm. Na nádobě je umístěna drátěná klec, která zabraňuje zvířatům vypít vodu v pánvi. Změny hladiny vody v nádobě se měří denně pomocí hloubkoměru. Na obrázku 8.9 je znázorněna odpařovací pánve třídy A v dané oblasti.



Obrázek 8.9. Odpařovací nádoba třídy A (foto: Erhan GOCMEN).

Při odhadu spotřeby vody v referenčních rostlinách na základě klimatických údajů se používá metoda definovaná jako FAO-56-PM, která vznikla revizí Penman-Monteithovy metody podle Allena et al (1998):

8.3

Kde;

ET_0 : (mm/den), R_n : G : tepelný tok v půdě
(MJ/m²/den),

T : Průměrná teplota (°C),

u_2 : rychlost větru ve výšce 2 m (m s⁻¹), e_a :

tlak nasycených par (kPa),

e_d : Skutečný tlak par (kPa),

Δ : Sklon křivky tlaku nasycených par (kPa/°C),



Co-funded by
the European Union



γ : hodnoty psychometrické konstanty ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$).

Zavlažovací modely a technologie

Příkladem modelu zavlažování je bezplatný software CROPWAT 8.0, který vyvinula divize FAO pro rozvoj půdy a vody. Tento model je počítačový program pro výpočet potřeby vody a zavlažování rostlin na základě údajů o půdě, klimatu a plodinách.

Všechny výpočetní postupy použité v systému CROPWAT vycházejí ze dvou publikací řady FAO Irrigation and Drainage Series, a to č. 56 "Plant Evapotranspiration - Guidelines for calculating plant water demands" a č. 33 "Water yield response".

CROPWAT 8.0 obsahuje rostlinné, půdní a meteorologické údaje. Pokud nejsou k dispozici klimatické údaje, lze je získat z CLIMWAT, odpovídající klimatické databáze pro více než 5 000 stanic po celém světě. Pro výpočet spotřeby vody rostlinami se používá rovnice 8.3. Pomocí programu se výsledky týkající se spotřeby vody rostlinami vyhodnocují velmi rychle (FAO 2023b).

Kromě toho inteligentní meteorologické stanice, které sledují meteorologické údaje, jako je teplota, záření, relativní vlhkost, rychlost větru a srážky ve studované oblasti, okamžitě vypočítají spotřebu vody v referenčním zařízení pomocí Penmanovy-Monteithovy rovnice a všechny výsledky okamžitě přenesou přes internet. Tyto údaje lze snadno sledovat prostřednictvím počítače, tabletu nebo mobilního telefonu. Zmíněná meteorologická stanice je zobrazena na obrázku 8.10.

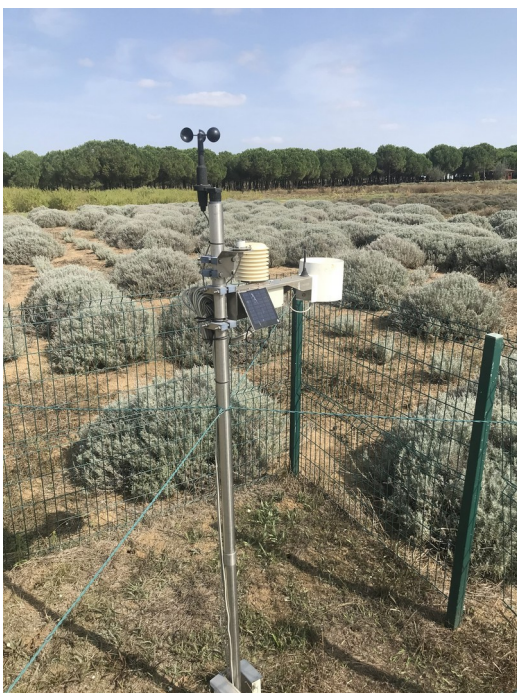
Účinné srážky: Je definována jako množství srážek, které rostliny využijí části své potřeby vody během vegetačního období. Bere v úvahu množství srážek, které mohou být uloženy v půdě a účinně využity rostlinami, aniž by došlo k infiltraci pod kořenovou zónu a odtoku. Efektivní srážky jsou důležitým faktorem, který by měl být zohledněn při plánování zemědělského zavlažování, aby se určilo množství použité závlahové vody.

Účinnost zavlažování: Účinnost zavlažování znamená, jak efektivně se v zemědělství využívá voda k udržení růstu rostlin. Je to měřítko toho, jak dobře zavlažovací systém dodává vodu rostlinám a jak efektivně rostliny tuto vodu využívají. Níže jsou vysvětleny všechny účinnosti ovlivňující výkonnost zavlažování. Jedná se o tyto oblasti:

Účinnost přenosové a distribuční soustavy: Souvisí se stavem zavlažovací infrastruktury. Účinnost přenosu a distribuce je vysoká v dobře udržovaných systémech.

a vhodně navrženým zavlažovacím systémem, když je voda odebírána ze zdroje a dopravována na pole.

Účinnost aplikace vody: Souvisí s tím, jak rovnoměrně a efektivně je voda v oblasti rozdělena. Je to poměr vody uložené v kořenové zóně a vody dodané na pole. Nerovnoměrná distribuce může mít za následek nadměrné zavlažování v některých oblastech a nedostatečné zavlažování v jiných. Tlakové metody zavlažování zvyšují účinnost aplikace vody.



Obrázek 8.10. Automatická inteligentní meteorologická stanice (foto: Erhan GOCMEN).

Efektivní využívání vody: Účinnost využití vody vyjadřuje, jak efektivně rostliny využívají vodu, která je jim . Jinými slovy je definována jako poměr vody rostlinou k množství vody aplikované do kořenové zóny. Zlepšení kvality půdy výběrem rostlin odolných vůči suchu nebo přidáním organických látek může zvýšit účinnost využití vody.

Celková účinnost zavlažování: Je vyjádřením všech účinností dohromady. Vyjadřuje se jako poměr spotřeby vody v rostlině a vody odvedené ze zdroje.

Strategie zavlažování

Vzhledem k rostoucímu počtu obyvatel se zvyšuje i potřeba potravin. Zvýšení produkce plodin se dosahuje prostřednictvím zemědělského zavlažování. Je však zřejmé, že vodní zdroje jsou pod velkým tlakem. Zavlažované zemědělství bude muset přijmout nové paradigma hospodaření založené na ekonomickém cíli maximalizace čistých přínosů spíše než na biologickém.



Co-funded by
the European Union



cíl maximalizovat výnos (English et al. 2002). Proto se objevily některé strategie zavlažování.

Plné zavlažování: Úplné zavlažování je strategie, která uspokojí všechny potřeby rostliny, aniž by ji zatěžovala. Cílem plného zavlažování je udržet vlhkost půdy na úrovni polní kapacity nebo blízko ní, aby se zachovala dostatečná vlhkost půdy pro rostliny. To znamená zajistit dostatečné množství vody maximalizaci růstu rostlin a výnosového potenciálu. Používá se v oblastech, kde je množství vody nadbytek.

Klíčové vlastnosti plného zavlažování:

- Voda je dodávána v množství, které splňuje všechny požadavky rostlin na vodu.
- Optimální podmínky pro pěstování jsou zajištěny udržováním vlhkosti půdy na polní kapacitě nebo blízko ní.
- Plné zavlažování se často používá u vysoce hodnotných plodin, kde je rozhodující maximalizace výnosu.
- Spotřeba vody a energie je na nejvyšší úrovni

Plné zavlažování bylo velmi podrobně studováno a v literatuře je dostatek podrobných informací. Například u pšenice byl v podmínkách plné závlahy dosažen nejvyšší průměrný výnos zrna 830 kg/da, zatímco nejnižší výnos 290 kg/da byl získán při aplikaci bez závlahy (pouze dešťové). Účinnost se zvýšila přibližně 3krát (Sezen a autor 2006). Al-Ghobari a Dewidar (2018) vysvětlili, že maximální výnos rajčat byl získán z plné závlahové aplikace při povrchové i podpovrchové kapkové závlaze ve svém výzkumu prováděném při různé úrovni plné závlahy dvěma různými způsoby. U všech aplikací bylo konstatováno, že úspora vody je vyšší u podpovrchové kapkové závlahy ve srovnání s povrchovou kapkovou závlahou.

Deficitní zavlažování: V případě nedostatku vodních zdrojů se jedná o strategii zavlažování, která plně neuspokojuje potřebu vody v rostlinách, ale způsobuje přijatelné snížení výnosu. Za účelem úspory vody může být vytvořen deficit v plné míře zavlažování rostliny. Smyslem je zde stanovit vztah mezi množstvím použité závlahové vody a dosaženým výnosem a najít stav, kdy je účinnost využití vody nejvyšší. Tím se dosáhne úspory vody i optimální účinnosti při malé ztrátě výnosu.

Klíčové vlastnosti omezeného zavlažování:

- Obvykle se používá v oblastech s nedostatkem vody nebo s omezenými vodními zdroji.



Co-funded by
the European Union



- Voda se záměrně aplikuje na nižší úroveň než při plném zavlažování, čímž se vytváří řízený deficit vody.
- Je třeba pečlivě sledovat a rozhodovat, aby se zabránilo nadměrnému namáhání, které by mohlo výrobek poškodit.

Vědecké studie jasněji odhalují deficitní zavlažování. Například Tejero et al. (2011) ve své studii o citrusových sadech pěstovaných při plné a omezené závlaze uvedli, že nejvíce zatěžující omezená závlaha by neměla být aplikována v období kvetení nebo růstu plodů, aby byl zajištěn podobný výnos jako u plně zavlažovaných rostlin. Uvedli, že výnosů velmi blízkých plné závlaze bylo dosaženo při strategiích částečné závlahy, které ušetří až 1000 m³ ha⁻¹ vody (100 mm/ha). Karam et al (2011) zkoumali reakci lílků zavlažovaných kapkovou závlahou v polosuchém klimatu na vodní stres. Konstatovali, že pokles čerstvého výnosu v důsledku nedostatečné závlahy byl kompenzován zvýšením průměrné hmotnosti plodů a účinnosti vody. Dále uvedli, že v případech, kdy jsou vodní zdroje omezené, vede deficitní zavlažování před květem a po dokončení vývoje listů rostliny k nejmenšímu poklesu výnosu.

Doplňkové zavlažování: V případech, kdy srážky nemohou zajistit dostatek vláhy pro normální růst rostlin, je třeba použít omezené množství závlahové vody pro zvýšení a vyrovnání výnosu. Vzhledem k tomu, že nedostatek vody postihuje především rostliny vysazované na jaře a rostliny pěstované v mělkých půdách, mohou obě tyto rostliny vyžadovat doplňkovou závlahu (Debaeke a Aboudrare 2004). Doplňková závlaha, zejména v kritických fázích růstu rostlin, může zvýšit výnos rostlin a účinnost využití vody.

Klíčové vlastnosti doplňkového zavlažování:

- Doplnjuje přirozené srážky a používá se v případě potřeby, upravuje se sezónních a povětrnostních změn.
- Pomáhá předcházet stresu ze sucha a neúrodě během období sucha.
- Doplňkové zavlažování může ušetřit vodu ve srovnání s plným zavlažováním, protože zabraňuje přemokření v období dešťů.
- Je hojně využívána v regionech s proměnlivými srážkami nebo omezenými vodními zdroji.

Vzhledem ke studiím prováděným s doplňkovou závlahou se ukázalo, že doplňková závlaha broskvoní (Oweis a Hachum 2012) a olivovníků (Razouk et al. 2013) pěstovaných v podmínkách dešťové výživy zvýšila výnos a kvalitu plodů. Kromě toho doplňková závlaha neovlivnila obsah oleje v olivovníku a zvýšila se účinnost využití vody. Ve své studii



Co-funded by
the European Union



Zegbe a Servin-Palestina (2021), která byla prováděna po dobu tří let na různých odrůdách hrušní kaktusů, uvedli, že výnos plodů, průměrná hmotnost plodů, prodejné plody, účinnost využití vody, účinnost využití vody při zavlažování a účinnost vody byly podobné u rostlin zavlažovaných při doplňkové závlaze a při plné závlaze. Proto uvádějí, že ve srovnání s plnou závlahou přináší aplikace doplňkové závlahy u všech odrůd v průměru 51-52% úsporu vody. Oweis et al. (2020) pěstovali čočku ve středomořských podmínkách se třemi různými dávkami doplňkové závlahy a v podmínkách bez závlahy. Výsledky ukázaly, že výnos zrna a biomasy čočky se zvyšoval s rostoucím množstvím doplňkové závlahové vody. Průměrný výnos zrna činil 1,42 t ha⁻¹ při 1/3 doplňkové závlahy, 1,69 t ha⁻¹ při 2/3 doplňkové závlahy a 1,81 t ha⁻¹ při plné doplňkové závlaze ve srovnání s 1,04 t ha⁻¹ v podmínkách dešťové závlahy. Výsledky studie ukázaly, že 2/3 úroveň doplňkové závlahy poskytuje maximální účinnost využití vody pro zrno i biomasu.

Souhrnně lze říci, že cílem plného zavlažování je poskytnout rostlinám veškerou potřebnou vodu, cílem deficitního zavlažování je strategicky snížit přísun vody pro dosažení konkrétních cílů a cílem doplňkového zavlažování je doplnit přirozené srážky, aby se udržely optimální úrovně půdní vlhkosti. Volba způsobu zavlažování závisí na faktorech, jako je druh rostliny, místní klima, dostupnost vody a konkrétní cíle produkce a kvality rostlin.

8.4. DISTRIBUCE VODY V ZEMĚDĚLSTVÍ A TECHNOLOGIE

8.4.1. Doprava a distribuce zavlažovací vody do oblastí

Stavby, které umožňují shromažďovat vodu ze staveb, jako jsou potoky, přehrady, rybníky a studny, a přenášet ji a rozvádět do potřebných oblastí, se nazývají systémy pro dopravu a rozvod vody.

Systémy pro přepravu a distribuci vody lze klasifikovat jako systémy s otevřenými kanály, kanály a potrubní systémy.

Systém musí aplikovat takové množství vody, které plně uspokojí potřeby rostlin, nezpůsobí erozi a bude mít vysokou účinnost.

Systémy otevřených kanálů: Jsou provedeny jako kanály vyložené zeminou nebo betonem. Obvykle se vyrábějí s lichoběžníkovým průřezem.

V těchto systémech, kde je voda přenášena gravitačně, se skládá z následujících složek:



Co-funded by
the European Union



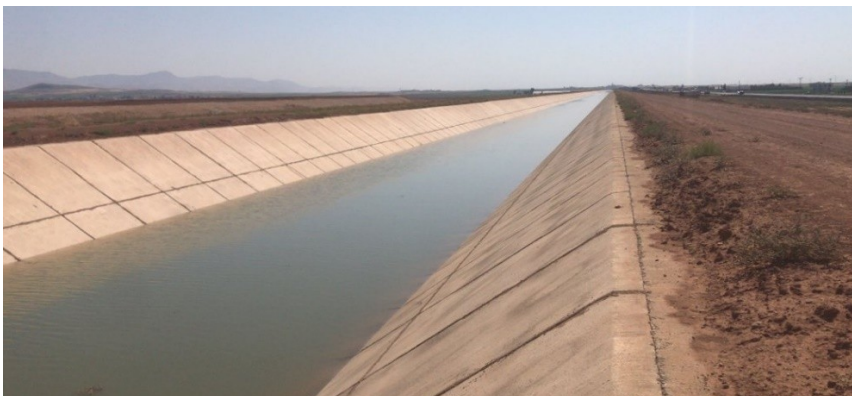
- přenosový kanál,
- hlavní kanál,
- sekundární kanál,
- terciární kanál a
- kanál pro přenos vody v poli.

Přenosový kanál: Je to kanál, který odebírá zavlažovací vodu z akumulární struktury a převádí ji do hlavního kanálu. Z tohoto kanálu se nezavlažuje.

Hlavní kanál: Hlavní kanál: je to kanál, který přivádí zavlažovací vodu v rámci zavlažovací oblasti a převádí ji do vedlejšího kanálu (obrázek 8.11). Je rovnoběžný s protilehlými liniemi. Rychlost vody proudící v hlavním kanálu by neměla být menší než 0,30 m/s, aby nedocházelo k ucpávání a usazování, a neměla by být vyšší než 2,4 m/s, aby nedocházelo k erozi. Délka hlavního kanálu může být až 100 km. Sklon hlavního kanálu je velmi malá hodnota, která se pohybuje mezi 0,0002-0,0005.

Sekundární kanál: Druhý kanál: odebírá vodu z hlavního kanálu a přivádí ji do terciárních jednotek. V zavlažovací oblasti vede kolmo k obrysovým liniím. Vzdálenost kanálů může být přibližně 5 až 6 km. Sklon kanálu by měl být nižší než 0,0007.

Terciární kanál: Je to kanál, který převádí vodu získanou ze sekundárního kanálu do zavlažovací oblasti. Je rovnoběžný s obrysovými čarami. Jeho sklon se pohybuje mezi 0,0002-0,0005. Vzdálenost mezi terciáry je 300-400 m. Terciáry mohou být dlouhé až 2-3 km. Terciární kanál slouží maximálně 120 ha zavlažovací plochy. Každých 200-250 m nad terciárem se nachází zásuvka. Voda odebraná z výpusti je odváděna do polního nebo hlavního polního kanálu.



Obrázek 8. 11. Hlavní kanál (Zdroj: [//www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/6932](http://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/6932). Dostupné 20.10.2023).

Stavby pro rozvod a přenos vody v terénu: Jedná se o kanály, které odebírají vodu z terciární zásuvky a rozvádějí ji po poli. Budují je zemědělci. Jejich délka je maximálně 500 m. Jejich dosah je až 200 m.

Zavlažovací systémy Canalet: Jedná se o prefabrikované zavlažovací kanály s eliptickým nebo půlkruhovým průřezem (obrázek 8.12).



Obrázek 8.12. Systém Canalet (zdroj: ?).

Zavlažovací systémy: Trubkové zavlažovací systémy jsou nízkotlaké systémy uložené pod zemí. Zavlažovací voda je přiváděna ze zdroje na pole zakopaným hlavním potrubím a rozváděna na pozemky zakopaným postranním potrubím. Na začátku pole je voda vyvedena na povrch půdy pomocí konstrukcí zvaných komíny. V tomto systému jsou eliminovány ztráty půdy. Protože je systém tlakový, je zajištěn i přenos vody do kopce. Ztráty únikem a odpařováním v potrubí jsou zanedbatelné. Účinnost přenosu vody je velmi blízká 100 %. Na obrázku 8.13 je znázorněna konstrukce potrubí pro přenos závlahové vody.

Ztráty průsakem v půdních kanálech mohou v závislosti na typu půdy přesahovat 50 %. V kanálech s betonovou obezdívkou je tato hodnota nižší. Ačkoli se u zavlažovacích sítí uvádí průměrná ztráta při přenosu 10 %, uvádí se, že v praxi jsou tyto ztráty mnohem větší (Çakmak et al. 2008).



Obrázek 8. 13. Uzavřené potrubí pro přenos závlahové vody.

(Zdroj :<https://www.dsi.gov.tr/Galeri/ResimgaleriDetay/2863> Přístup:21.10.2023).

Celková plocha zavlažovacích systémů vybudovaných DSI (Turecké státní vodní stavby) je 2 623 908 ha, z toho 34,2 % ha tvoří klasický systém, 35,3 % kanálový systém a 30,5 % potrubní systém. Potrubní systém se v průběhu rozšířil. Zatímco v roce 2015 byla účinnost zavlažovacích zařízení provozovaných a převáděných DSI 43 %, v roce 2020 to bylo 48 % (DSI 2021). Podle těchto údajů, pokud se podmínky, za kterých je povrchová závlahová voda přenášena a distribuována otevřenými kanály a aplikována na půdu, změní na tlakové potrubní vedení a tlakové metody zavlažování, může se účinnost zavlažování zvýšit nejméně na 80 %, což odpovídá 40 % celkové vody odvedené do oblasti (DSI 2021).

8.4.2. Metody zavlažování

K dodávce závlahové vody do půdy se používají různé metody, které mají uspokojit nedostatek vláhy v půdě. Tyto metody se dělí na dvě: povrchové zavlažování a tlakové zavlažování.

Při povrchovém zavlažování se voda pohybuje ve směru svahu a gravitačně se dostává do půdního profilu, kde se ukládá. Povrchové metody zavlažování jsou metoda zavlažování v pánvi, metoda zavlažování na okraji a metoda zavlažování v brázdách. Při tlakových metodách zavlažování je voda na pole přiváděna čerpadlovou jednotkou a podle potřeby vypouštěna do půdy. Protože je systém tlakový, není ovlivněn topografickými podmínkami. Mezi tlakové zavlažovací metody patří zavlažování postřikovačem a kapkové zavlažování. Z celkového počtu 1 843 125 ha zavlažovacího systému vyvinutého společností DSI se povrchová závlaha používá v 61 %, postřikovací metoda zavlažování se používá v 21,6 % a kapková metoda zavlažování se používá v 17,3 % (DSI 2021).

Metoda zavlažování v povodí: Při této metodě je povodí obklopeno násy o určité výšce kolem pole, aby se zabránilo stékání vody na sousední pole. Zpravidla se používá pro rostliny v řádcích a často, a to zejména pro rostliny, které nejsou ovlivněny stojatou vodou, jako je rýže. Pohled na zavlažování v povodí je znázorněn na obrázku 8.14.

Metoda zavlažování hranic: Zavlažování půdy rozdělením na více pásů oddělených sadami podél pole se nazývá metoda hraničního zavlažování (obrázek 8.15). Při této metodě se zavlažovací voda přitékající z polního kanálu odebírá mezi mezemi prostým vytvořením polního odtoku nebo pomocí sifonů či poklopů. Díky náspům na obou stranách protéká až k hranicím a dosáhne konce pozemku, čímž zavlažuje pozemek. Přebytečná voda odtéká do odvodňovacích příkopů díky otevřenému konci pozemku.



Obrázek 8.14. Pohled na rýžová pole, kde se metoda zavlažování v pánvi. (Zdroj: Anadolu Agency, 2023. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bafra-ovasinda-bereketli-yaz-sezonu-icin-hazirlık-yapilerini/2601033>. Přístup: 12.10.2023).



Obrázek 8.15. Metoda zavlažování hranic. (Zdroj: Ankara Municipality, 2023. (https://www.ankara.bel.tr/files/7814/3893/6464/SULAMA_SEZA-OKCU.pdf. Přístup: V roce 2015 se uskutečnil první ročník soutěže o nejvýznamnějšího zemědělského podnikatele v České republice: 12.10.2023).

Metoda zavlažování do brázd: Tato metoda zavlažování se běžně používá pro řádkové plodiny, které potřebují dostatečnou drenáž a dostatek vláhy. Brázdy jsou malé kanály vybudované podél svahu pole, které dopravují vodu mezi řádky rostlin (obrázek 8.16). Rostliny se často pěstují na hřebenech mezi brázdami. Tato metoda je vhodná pro rostliny, které nemohou zůstat dlouho ve vodě, protože zkracuje kontakt rostliny s vodou.



Obrázek 8.16. Metoda zavlažování do brázd (Zdroj: Jeff Vanuga, USDA, <https://www.usgs.gov/media/images/irrigation-methods-furrow-or-flood-irrigation>. Přístup: 10.12.2023).

Způsob zavlažování postřikovačem: Zavlažování pomocí postřikovačů je řízená aplikace vody na rostliny, podobně jako při dešti (obrázek 8. 17). Voda je rozváděna po ploše prostřednictvím mnoha zařízení sestávajících z čerpadel, ventilů, potrubí a postřikovačů. Obecně lze říci, že zavlažování postřikovačem je metoda, kterou lze použít k zavlažování všech druhů rostlin, s výjimkou několika rostlin, které mohou být citlivé na smáčení svých listů a stonků.

Ve studii provedené v USA byly při zavlažování cibule porovnávány metody zavlažování brázdami, postřikovači a kapkovou závlahou. Nejvyšší účinnosti zavlažování bylo dosaženo při zavlažování zavlažovačem a tato metoda byla doporučena pro úsporu vody při zavlažování cibule (Al-Jamal et al. 2001). Uygan et al. (2021) pěstovali cukrovou řepu v podmínkách plné a deficitní závlahy s použitím lineárně působící závlahy postřikovačem. Plná závlaha poskytla nejvyšší výnos cukrové řepy, ale neposkytla nejvyšší čistý zisk. Vysvětlili, že hlavním důvodem je skutečnost, že prodejní cena cukrové řepy se určuje podle obsahu cukru. V pokusu bylo vysvětleno, že obsah cukru v cukrové řepě klesá se zvyšující se závlahovou vodou. Nejvyššího čistého zisku bylo dosaženo u subjektu, kde bylo použito 80 % plné závlahy. Tím se také dosáhlo o 20 % nižší úspory závlahové vody ve srovnání s plným zavlažováním. Dále uvedli, že v případě vážného nedostatku závlahové vody je třeba počítat se 40% úsporou vody při velmi malém poklesu čistého zisku.

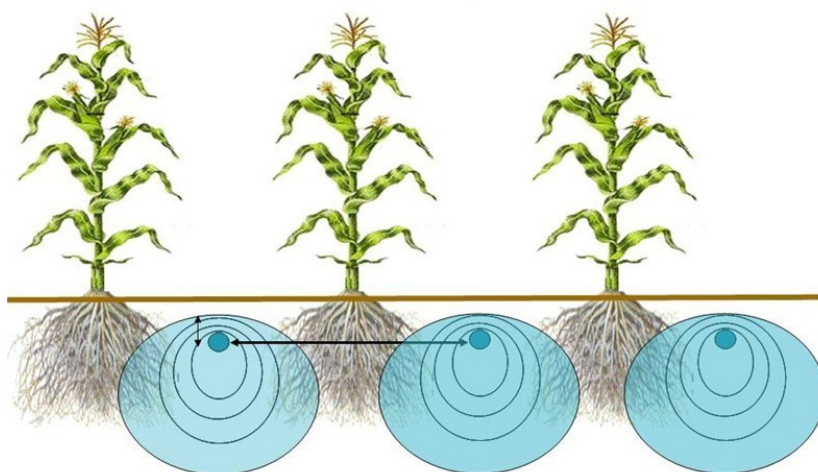


Obrázek 8.17. Sprinkler zavlažování metoda. (Zdroj: Anadolu Agentura 2020. <https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/enerji/dicle-elektrikten-elektrik-tasarrufu-icin-tarimsal-sulama-arastirmasi/658755>. Přístup: 10.12.2023).

Metoda kapkové závlahy: Při kapkové závlaze se voda dostává do půdy ve formě kapek pod určitým tlakem prostřednictvím kapačů na tenkých trubkách. Zavlažována je pouze oblast kořenů každé rostliny. Jedná se tedy o účinnou metodu zavlažování s vysokou účinností (obrázek 8.18). Vyšší účinnosti se dosahuje při podpovrchové kapkové závlaze. Ztráty výparem jsou menší. Schéma podpovrchové kapkové závlahy je uvedeno na obrázku 8.19. Ve studii o zavlažování olivových zahrad byly porovnávány metody povrchové a podpovrchové kapkové . Při porovnání výnosu oliv a výtěžku olivového oleje bylo dosaženo vyšších výsledků u stromů zavlažovaných podpovrchovou kapkovou závlahou. Podle výsledků bylo při podpovrchové kapkové závlaze dosaženo až 20% úspory vody (Martinez a Reca 2014). Tuto metodu lze použít pro zavlažování všech rostlin a všech půdních podmínek.



Obrázek 8.18. Metoda kapkové závlahy (Zdroj: Erhan GÖÇMEN).



Obrázek 8.19. Podpovrchová kapková závlaha. (Zdroj obrázku: Roberto Bartolini.

<https://www.ilnuovoagricoltore.it/i-sistemi-a-goccia-su-mais-e-soia-unirrigazione-a-regolare/> Přístup: 13.10.2023)



Co-funded by
the European Union



8.5. HOSPODAŘENÍ S VODOU V ZEMĚDĚLSTVÍ A SPRÁVA VODNÍCH ZDROJŮ

Cílem vodního hospodářství je plánovitě rozvíjet vodní zdroje, spravedlivě je rozdělovat a efektivně využívat. Řízení zavlažování je systém, který organizuje distribuci a využívání vody pro zemědělské účely zavlažování. Studované oblasti zemědělského řízení zavlažování v Turecku zahrnují přípravu, realizaci a monitorování programů distribuce vody během zavlažovací sezóny a jejich vyhodnocení na konci zavlažovací sezóny (Çakmak et al., 2008).

Zavlažování je důležitým zemědělským postupem pro uspokojení potravinových potřeb rostoucího počtu obyvatel. Je však velmi důležité, jak se s touto vodou, která je vzácným zdrojem, hospodaří od zdroje až k rostlinám.

8.5.1. Vodní hospodářství v TÜRKIYE

V Turecku je za vodní hospodářství odpovědné Generální ředitelství státních vodních děl (DSI) a Generální ředitelství vodního hospodářství. V určitém rozsahu jsou k hospodaření s vodou oprávněny také zvláštní provinční správy a metropolitní obce. Kromě toho jsou za správu, rozvoj a ochranu vodních zdrojů Turecka přímo či nepřímo odpovědné Generální ředitelství pro životní prostředí, Generální ředitelství pro ochranu přírody a národní parky, Generální ředitelství pro obnovitelné zdroje energie, Úřad pro regulaci energetického trhu, Ministerstvo zdravotnictví, Ministerstvo zemědělství a lesnictví, Banka provincií, Zavlažovací sdružení, Ministerstvo kultury a cestovního ruchu a Ministerstvo rozvoje.

Generální ředitelství DSI bylo zřízeno 18. prosince 1953 zákonem č. 6200 a bylo organizováno v roce 1954.

Jako veřejná instituce, která chce účinně plnit cíle ochrany před povodněmi, popularizace zavlažovaného zemědělství, výroby vodní energie a zásobování pitnou vodou velkých měst i sídel s obecními organizacemi, se prioritně zaměřuje na přehradní díla, která jsou společným bodem těchto čtyř cílů. Z tohoto důvodu je generální ředitelství DSI známé jako organizace, která v TÜRKIYE staví přehrady. Zároveň je orgánem při přidělování vodních zdrojů pro různé účely využití.

Generální ředitelství DSI vykonává svou činnost v souladu se zákony č. 6200, 167 a 1053. Tyto zákony jsou shrnuty níže:



Funded by
the European Union



Se zákonem o organizaci a povinnostech č. 6200 ze dne 28. 2. 1954:

- Vrtání studní pro průzkum a výzkum podzemních vod,
- Přidělení podzemní vody,
- Ochrana a evidence podzemních vod,
- Vydávat osvědčení o průzkumu, využití a reformě,

Zákonem č. 1053 ze dne 3. 7. 1968 o zásobování Ankaru, Istanbul a města s více než 100 000 obyvateli pitnou vodou;

- Výstavba přehrad a vodních dopravních staveb
- Výstavba vodních evakuačních staveb,
- Výstavba vodních nádrží,

V důsledku novelizace článku 10 zákona č. 1053 zákonem č. 5625 ze dne 18. 4. 2007 však bylo zrušeno kritérium počtu obyvatel a DSI byla oprávněna k výstavbě zařízení pro zásobování pitnou a průmyslovou vodou a případně i zařízení pro odvádění odpadních vod ve všech sídlech s obecní organizací a název zákona č. 1053 byl změněn na "Zákon o zásobování pitnou, užitkovou a průmyslovou vodou sídel s obecní organizací".

Povinnosti a pravomoci Generálního ředitelství vodního hospodářství, které bylo zřízeno v roce 2011, jsou popsány v článku 421 "Dekretu prezidenta republiky o organizaci prezidenta republiky" č. 1 ze dne 10. 7. 2018:

- Provádět studie pro stanovení politik týkajících se ochrany, zlepšování a využívání vodních zdrojů,
- Vypracovat a nechat vypracovat plány povodí na úrovni povodí s cílem zajistit ochranu a rozvoj ekologické a chemické kvality vodního prostředí s ohledem na rovnováhu mezi ochranou a využíváním vodních zdrojů, včetně pobřežních vod, a provést legislativní studie o komplexním řízení povodí,
- Sledovat procesy vyplývající z mezinárodních dohod a dalších právních předpisů týkajících se ochrany vodních zdrojů a hospodaření s nimi, provádět práce související s přeshraničními a hraničními vodami ve spolupráci s příslušnými institucemi,
- Vytvořit národní databázi vody,



Funded by
the European Union



- Identifikace a monitorování citlivých oblastí z hlediska znečištění vody a oblastí citlivých na dusičnany,
- Stanovit zásady, normy a kritéria pro projektování zařízení na úpravu pitné a užitkové vody, určit instituce a organizace oprávněné schvalovat projekty, zajistit školení pracovníků, kteří budou zařízení provozovat, a vydávat jim osvědčení,
- Provádět studie o dopadu změny klimatu na vodní zdroje,
- Stanovit, vyhodnotit a aktualizovat opatření týkající se prevence znečištění na úrovni povodí společně s příslušnými institucemi a organizacemi a sledovat postupy,
- Stanovení cílů, zásad a norem přijímajícího prostředí pro ochranu jakosti a množství povrchových a podzemních vod ve s příslušnými institucemi a organizacemi a sledování nebo zadání sledování jakosti vody,
- Provádět studie pro stanovení strategií a politik týkajících se povodní a připravovat příslušné právní předpisy a plány povodňového řízení,
- Přidělování vodních zdrojů na odvětvovém základě v souladu s plány povodí.

8.5.2. Hospodaření s vodou ve světě

Do hospodaření s vodou ve světě zasahuje mnoho institucí a organizací, zejména Organizace spojených národů (OSN), Organizace OSN pro výživu a zemědělství (FAO), Světová rada pro vodu (WWC), Světová rada pro podnikání a udržitelný rozvoj, Evropská unie (EU) a Světový svaz ochrany přírody.

Rámcová směrnice o vodě, jejíž základy byly v Evropě položeny v roce 1975, vstoupila v platnost 22. listopadu 2000. Hlavní zásada směrnice definuje vodu jako "... nikoli komerční produkt, ale spíše dědictví, které je třeba chránit, hájit a odpovídajícím způsobem s ním zacházet". Směrnice předpokládá nový a holistický přístup založený na této základní zásadě. Cílem je chránit všechny vody Evropy a zlepšit jejich stav (Kibaroglu et al. 2006).

Problémy vyskytující se při správě zavlažování a návrhy řešení



Co-funded by
the European Union



Lze říci, že problémy ve vodním hospodářství vznikají ve všech fázích, počínaje rozvojem vodních zdrojů a konče dodávkami vody v terénu.

Problémy související s nedostatkem fyzické infrastruktury

- V oblasti zavlažování nelze provádět udržitelné hospodaření s vodou, protože nelze dokončit rozvojové služby na farmě (jako je scelování pozemků, vyrovnávání a odvodňování).
- Zavlažovací kanály, koryta atd., všechny umělecké stavby nelze efektivně využívat, protože jsou vystaveny jak klimatickým vlivům, tak poškození uživateli.
- Při zavlažování dochází k plýtvání vodou a energií, pokud se přenáší více vody, než je potřeba zavlažované oblasti.
- Zavlažování s nedostatečnými vodními zdroji zvyšuje tendenci zemědělců využívat nelegální vrty podzemní vody, což způsobuje snížení účinnosti zavlažování.
- Vzhledem k tomu, že ve většině kanálových sítí není žádná meziskladovací nádrž a že se v noci nezavlažuje, dochází zejména ve špičkách k vypouštění vody do sítě.
- V kanálech dochází k nadměrné akumulaci sedimentů nebo k jejich poškození. To způsobuje vysoké náklady na údržbu a opravy.

Problémy spojené s provozem zavlažovacích systémů:

- Například nízké ceny vody pro zavlažování v Turecku způsobují nadměrnou spotřebu vody v zemědělství. Současné poplatky za vodu nepostačují k pokrytí provozních nákladů a nákladů na údržbu.
- Neuvědomělé zavlažovací postupy a skutečnost, že většina zavlažovacích sítí je stará, vedou k nadměrné spotřebě vody v zemědělství. Nadměrné využívání vody snižuje účinnost zavlažování a způsobuje environmentální problémy, jako je zasolování, zvyšování hladiny podzemní vody, tvorba rybníků a znečištění, a nelze zavlažovat celou zavlažovanou plochu.
- Zemědělci stále používají metody povrchového zavlažování.
- Přestože by rostliny měly být zavlažovány v době a v množství, které potřebují pro optimální vývoj, používá se nadměrné množství vody. Tato hodnota může být 2-3krát vyšší než potřeba.

Problémy se znečištěním



Co-funded by
the European Union



- V Turecku se znečištění vody v tocích, jezerech a mořích rychle zvyšuje v důsledku růstu populace, urbanizace, industrializace a zemědělských pesticidů a hnojiv.
- Je třeba vzít v úvahu, že tomuto nebezpečí mohou být vystaveny i podzemní vody.

Administrativní problémy

- Institucionální struktura potřebná pro integrované řízení vodních zdrojů v Turecku existuje pouze na úrovni ústřední vlády. V oblasti řízení kvality vody podobná koordinace mezi příslušnými organizacemi neexistuje.
- Oblasti odpovědnosti a hranice pravomocí mezi organizacemi se značně překrývají, což způsobuje nedostatky v koordinaci a narušení služeb.
- Vzdělávání zavlažovacích inženýrů a techniků pro rozvod vody pracujících v zavlažovacích svazech je dnes nedostatečné, a to navzdory příslušným studiím.

Řešení nabízí:

- Aby bylo zajištěno udržitelné hospodaření s vodou v zemědělství, měly by být spolu se zavlažovacími systémy budovány i úpravy polí, jako je vyrovnávání, zpevňování půdy a odvodňování. Nemělo by se zapomínat, že úspěch zavlažovacích projektů závisí na regulaci vztahů mezi půdou, vodou a člověkem v oblasti projektu fyzické infrastruktury.
- Místo otevřených kanálů by se při přenosu vody měly používat uzavřené potrubní systémy. Místo povrchových metod zavlažování by se měly při dodávce vody k rostlinám používat metody zavlažování pomocí postřikovačů a kapénkové závlahy. Tím se dosáhne úspory vody ve výši 20 až 30 %.
- Je třeba zabránit zneužívání zemědělské půdy.
- Měly by se používat nástroje a techniky, které zajišťují efektivní využívání vody v zemědělství. Kromě toho je díky vyspělým zavlažovacím technologiím možné vyprodukovat stejné nebo větší množství produktů s menším množstvím zavlažovací vody a práce, aniž by bylo poškozeno životní prostředí.
- Zákony, předpisy a nařízení týkající se rozvoje půdních a vodních zdrojů neodpovídají dnešním podmínkám. Pro efektivní využívání půdy



Co-funded by
the European Union



zdrojů, je třeba přijmout právní předpisy, které zabrání nezemědělskému využívání zemědělské půdy a znečištění a ztrátě půdy a vodních zdrojů.

- Pro zajištění efektivního využívání vody by měly být prioritou nezbytné strukturální a vzdělávací aktivity, které by informovaly zemědělce, zajistily ekonomickou udržitelnost organizací zemědělců a poskytly jim silnou finanční strukturu (Çakmak a Aküzüm, 2006).

8.6. OBCHODNÍ MODEL NA MÍRU PRO ZEMĚDĚLSKÉ HOSPODAŘENÍ S VODOU

Jak bylo uvedeno v první kapitole, do roku 2050 bude na světě žít přibližně 9,1 miliardy lidí, což výrazně zvýší celosvětovou poptávku po potravinách. očekává se, že produkce potravin se celosvětově zvýší o 60 %, a pokud se vezmou v úvahu pouze rozvojové země, mohla by se zvýšit až o 100 % (FAO 2011, 2021). V současné době se 70 % sladké vody odebírané z vodonosných vrstev, potoků a jezer používá na zavlažování plodin (FAO 2011, 2017, 2021) a tento podíl by se musel zvýšit, aby se udržel očekávaný nárůst produkce potravin. Vyčerpávání půdy, dostupné vody a biologické rozmanitosti v kombinaci se změnou klimatu již nyní omezuje růst zemědělské produktivity, což vede k obavám, že v budoucnu nebude zemědělská produktivita stačit k uspokojení celosvětové poptávky po potravinách (FAO, 2011, 2017, 2021).

Aby se předešlo takové krizi a odhalil se očekávaný nedostatek vody, je třeba urychleně zavést inteligentní hospodaření s vodou. Většina stávajících vodáren je řízena staršími modely SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Tyto průmyslové závody jsou neefektivní a z velké části nejsou schopny monitorovat, detekovat nebo řídit distribuci vody z důvodu praktických omezení.

Zde budou identifikovány nové moderní technologie pro zajištění účinných a efektivních zemědělských metod a prozkoumáno inteligentní hospodaření s vodou založené na internetu věcí.

Inteligentní hospodaření s vodou pomocí technologií založených na senzorech zajišťuje účinný a efektivní provoz s minimálním zásahem člověka. Chytré řízení spotřeby vody může pomoci při optimalizaci spotřeby vody odstranit problémy s řešením problémů se zavlažovacím systémem na dálku pomocí dálkového monitorování a využití senzorů internetu věcí a připojených polních uzlů, které poskytují rychlou reakci podle stavu krajiny a povětrnostních podmínek v reálném čase. Klíčovými výhodami využití inteligentního řízení spotřeby vody ve vodárnách jsou optimalizace spotřeby zdrojů a monitorování jednotlivých komponent. Od zjišťování úniků, plýtvání vodou a kvality, komponent a zařízení



Co-funded by
the European Union



uptimes, aby odpovídaly požadavkům na dodávky vody inteligentní vodní hospodářství poskytuje nejlepší možnosti implementace (Bhardwaj 2022).

Abychom mohli efektivně využívat vodu pro zavlažování, musíme pochopit dynamiku využívání vody rostlinami, a to v závislosti na počasí, fyziologii rostlin a vlastnostech půdy. Z různých vyvinutých a navržených metod plánování zavlažování jsou nejdůležitější tři typy: na základě počasí, půdní vlhkosti a stavu vody v rostlinách v tradičních přístupech (Ahmad et al. 2023).

Inovativní inteligentní zavlažovací systém se skládá z firmwaru, softwaru a hardwaru propojených různými výpočetními technikami, včetně umělé inteligence (AI) a hlubokého učení (DL) atd., které zajišťují správné množství vody ve vhodnou dobu v plodinách, aby se zlepšila WUE, zvýšil výnos, snížila spotřeba hnojiv, snížily náklady na práci a ušetřila energie. Ke zlepšení účinnosti zavlažovacího systému se používají různé metody řízení pomocí sledování proměnných, jako je teplota koruny a vzduchu, evapotranspirace, srážky a sluneční záření. Integrací informací z různých zdrojů mohou inteligentní zavlažovací systémy výrazně zlepšit produkci plodin a řízení zdrojů. Následující oddíl představuje různé nejnovější techniky spojené s inteligentními zavlažovacími systémy v zemědělství (Ahmad et al. 2023).

Umělá inteligence (AI) a hluboké učení (DL)

Umělá inteligence je schopnost stroje učit se a provádět úkoly podobné úkolům lidského mozku a je poháněna počítači. Při aplikaci na určitou problémovou oblast mohou algoritmy AI napodobit lidské rozhodování. Zavlažovací systémy byly integrovány s AI pro adaptivní rozhodování prostřednictvím fuzzy logiky, expertních systémů a umělé neuronové sítě (ANN) (Ahmad et al. 2023).

ANN je algoritmus pro zpracování informací, který je inspirován fungováním lidského mozku. Stejně jako neurony lidského mozku obsahuje i ANN neuronovou síť, ale synapse jsou nahrazeny předsunutými spojeními a váhami. To usnadňuje mapování vstupních a výstupních vztahů. Řídicí systémy založené na ANN se mohou učit a přizpůsobovat se dynamice proměnných, což je ideální pro zavlažovací systémy. Kromě toho se ANN používají jako inteligentní strategie při řešení problematiky formulace matematických modelů na základě prvních principů. V poslední době mnoho výzkumníků využívá metody ANN pro plánování zavlažování. Adeyemi et al. (2018) pomocí modelu AQUACROP integrovaného s dynamickou neuronovou sítí simulovali půdní vlhkost pro plodinu brambor. Karasekreter et al. (2013)



Co-funded by
the European Union



prokázali úspory energie až 23,9 % a vody až 20,5 % díky použití ANN integrované s fyzikálními vlastnostmi půdy a obsahem vlhkosti na jahodovém poli. Umair a Muhammad navrhli (2010) model regulátoru na bázi ANN v prostředí MATLAB s využitím klimatických proměnných jako vstupních dat.

Tsang et al. (2016) použili sedm různých algoritmů strojového učení, známých jako hybridní umělá inteligence, k vyhodnocení stavu půdní vlhkosti pomocí leteckých snímků zemědělských polí pro řízení zavlažování. Výsledky prokázaly 52% snížení spotřeby vody díky snížení chyb v načasování, úrovni zavlažování a umístění.

Na druhou stranu metoda hlubokého učení se nyní díky nedávnému vývoji výpočetní techniky v oblasti paralelního zpracování, softwaru a hardwaru používá k práci s miliony vah mezi neurony pro lepší pochopení chování. DL vyvinula revoluční epochu, protože dokáže řešit problémy, s nimiž se umělá inteligence potýká již dlouhou dobu. Hluboké učení se uplatnilo v oblasti zemědělství a hydrologie kvůli obtížné dostupnosti softwarových dat, rozpočtu a složitosti, například při modelování a aproximaci evapotranspirace plodin (Ahmad et al. 2023).

System prediktivního řízení (MPC)

MPC označuje kategorii pokročilých počítačem řízených algoritmů, které používají explicitní model procesu k předvídání budoucí odezvy zařízení. Modelové prediktivní řízení, vyvinuté v 60. letech 20. století, vychází z optimálního řízení. Základním principem MPC je použití dynamického modelu k předpovědi chování systému a optimalizace předpovědi k rozhodnutí o řídicím kroku v aktuálním čase. Kromě své flexibility řeší modelové prediktivní řízení opakovaně on-line omezené problémy optimálního řízení.

Modelový prediktivní systém byl použit při plánování zavlažování, řízení zavlažovacích kanálů, regulaci vlhkosti půdy a vodního potenciálu kmene. Modelové prediktivní řízení (MPC) se projevilo jako použitelné pro ovládání bran a řízení průtoku v kanálech. Cílem řízení pomocí modelového prediktivního řízení kanálů je udržovat hladinu vody co nejbližší nastaveným bodům. Proto je zapotřebí vhodný model regulující dynamiku hladin vody v kanálech. K modelování pohybu vody v kanálech byl použit modelový prediktivní řídicí systém, který udržuje určitou hladinu vody na různých místech a průtok vody, který tyto hladiny ovlivňuje. Řídicí nástroje udržují průtok vody, kterým může regulátor dosáhnout cílů řízení. Nicméně dosažení tohoto cíle není jednoduché, protože kolísání přítoků a odtoků narušuje celý vodní systém. Na



Co-funded by
the European Union



odhadnout budoucí průtoky a hladiny vody v reakci na regulační opatření a poruchy je třeba modelovat vodní systém (regulátor, úseky kanálů, poruchy a struktury). Několik autorů použilo MPC při řízení průtoků zavlažovacích kanálů. Například Puig a kol. použili MPC k vytvoření přístupů k řízení průtoku od zdroje vody k uživateli a zavlažovacímu území řeky Guadiana. Výsledky prokázaly užitečnost aplikace MPC (Ahmad et al. 2023).

Zavlažování s proměnlivou rychlostí (VRI)

VRI je metoda optimalizovaného zavlažování s proměnlivými dávkami v různých zónách řízení zavlažování na celém poli. Obvykle je aplikace závlahové vody na celém poli rovnoměrná. Vzhledem k prostorové variabilitě půdní topografie, hydraulických vlastností a stavu vegetace však zůstává obsah půdní vlhkosti nerovnoměrný. Když se tato prostorová variabilita půdy stane významnou, pole se rozdělí na různé zóny hospodaření, které se skládají z těch oblastí pole, které mají stejné půdní vlastnosti a stejné podmínky plodin. V různých zónách se pak zavlažuje různými dávkami. Takové variabilní řízení zavlažování může zvýšit ekonomickou hodnotu zavlažování zlepšením WUE, zvýšením produktivity a snížením vyplavování živin. To umožňuje přesnou a včasnou aplikaci vody na základě časoprostorových vlastností půdy a potřeby rostlin (Ahmad et al. 2023).

Jinými slovy, technologie VRI zajišťuje aplikaci správného množství vody ve správný čas ve správné zóně pole, což vede k výrazným úsporám vody. Mezi hlavní součásti technologie VRI patří senzory, mapy předpisů, prostorové informace a systém jednotek pro aplikaci předpisů VRI (boční zavlažování) na poli. Optimalizace předpisů VRI se obvykle určuje pomocí dálkového průzkumu Země, výnosových map, topografie, zdánlivé elektrické vodivosti půdy a půdních map. VRI také podporuje aplikaci hnojiv v proměnlivých dávkách, což by bylo přínosem při přizpůsobování proměnlivosti požadavků plodin na živiny (Ahmad et al. 2023).

Kromě několika výhod má VRI také některé nevýhody, mezi něž patří vyšší náklady, složitost při vytváření půdních map a údržba systému. Celkově je technologie VRI dobrou možností, jak přesně využívat vzácné vodní zdroje, ale je třeba vyvinout značné úsilí, aby tato technologie byla cenově dostupná a uživatelsky přívětivější (Ahmad et al. 2023).

Bezpilotní letadla (UAV) pro správu zavlažování



Co-funded by
the European Union



Bezpilotní letouny, nazývané také drony, jsou často spojovány s vojenskými operacemi, protože se používají jako zbraně pro zaměřování letadel a podílejí se na zpravodajských službách. Bezpilotní letouny jsou také užitečné pro monitorování zavlažování, protože využívají infračervené nebo termovizní kamery v síti IOT.

V poslední době se pro účely inteligentního zavlažování používají bezpilotní letadla se sítěmi senzorů založenými na internetu věcí, čímž se výrazně zvyšuje produktivita plodin. Výsledky výzkumu ukázaly, že vícepásmové snímky na bázi UAV jsou užitečné a vykazují značné schopnosti pro přesné zavlažování a řízení zemědělství. Kamery RGB (červená, zelená a modrá) lze s dronem použít k určení biomasy plodin pomocí viditelné odrazivosti pro hodnocení vegetačních indexů (Ahmad et al. 2023).

Předpovídání inteligentní technologie zavlažování pomocí systémů pro podporu rozhodování (DSS)

Systém pro podporu rozhodování (DSS) je interaktivní softwarový systém, který slouží k identifikaci, analýze a zlepšování rozhodnutí na základě nezpracovaných dat, dokumentů a osobních znalostí. Pro řízení zavlažovací vody s cílem zlepšit WUE byly navrženy různé systémy podpory rozhodování (DSS). Inteligentní a efektivní DSS musí při tvorbě plánu zavlažování zohlednit několik faktorů, jako je stav vody v půdě, typ plodiny, způsob zavlažování, informace o počasí a aplikace. Pro usnadnění přesného plánování zavlažování minimalizací chyb v odhadech vlhkosti půdy na poli poskytují DSS plány zavlažování nejen pro aktuální den, ale také pro předpověď zavlažovacích událostí pro budoucí dny (Ahmad et al. 2023).

Na základě myšlenky předpovědi zavlažování byl nedávno vyvinut prototyp systému DSS pro plánování zavlažování s názvem systém pro podporu rozhodování při plánování zavlažování (DSSIS) pro suché oblasti. Tento DSSIS má schopnost předpovídat zavlažovací události pro aktuální den a také předpovídat zavlažování do budoucna pomocí informací o počasí na následující 4 dny (Chen et al. 2019).

Tento systém (DSSIS) byl testován pro plánování zavlažování bavlny při plném zavlažování, deficitním zavlažování, zkušenostním zavlažování a zavlažování pomocí senzorů v suché oblasti. Při deficitním zavlažování ušetřil systém DSSIS 50 % závlahové vody při 4% nárůstu výnosu a až 80% zvýšení produktivity vody oproti zavlažování založenému na zkušenostech (Chen et al. 2022).

Výzvy pro navrhování inteligentních, udržitelných a uživatelsky přívětivých zavlažovacích systémů

Při navrhování inteligentních, udržitelných a uživatelsky přívětivých zavlažovacích systémů je třeba zvážit některé problémy. Jedná se o tyto problémy:



Co-funded by
the European Union



- Variabilita půdní textury je zásadním zdrojem nejistoty, protože ovlivňuje odhady aktuální a potenciální zásoby vody v půdě jak ve vertikálním směru, tak i v pozdějším směru na poli. Jednou z možností, jak tento problém odstranit a získat přesné informace o půdních parametrech potřebné pro přesné plánování zavlažování, je proto analýza půdy specifická pro danou lokalitu.
- Většina experimentů týkajících se inteligentních zavlažovacích systémů byla prováděna v malém měřítku na výzkumných polích nebo v kontrolovaných podmínkách prostředí, které nemohou představovat komerční zemědělskou praxi. Je zapotřebí provést studie na velkých polích přímo v zemědělských podnicích
- Cenově dostupné a uživatelsky přívětivé vybavení by se mělo vyrábět na místě .
- Většina zemědělců v suchých oblastech nemá dostatečné vzdělání a měli by být proškoleni prostřednictvím praktických ukázek inteligentních zavlažovacích systémů odbornými pracovníky.
- Vlády by navíc měly zemědělcům poskytovat dotace na rozšíření těchto technologií ve velkém měřítku.



Co-funded by
the European Union



ODKAZY

Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Domun, Y.; Norton, T. Dynamic neural network modelling of soil moisture content for predictive irrigation scheduling. *Sensors* 2018, 18, 3408.

Al-Ghobari, HM ve Dewidar, AZ (2018). Kurak bölgelerde su tasarrufuna yönelik bir strateji olarak açık sulamanın yüzey ve yüzey altı damla sulamaya entegre edilmesi. *Tarımsal Su Yönetimi*, 209, 55-61.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 (Evapotranspirace plodin - pokyny pro výpočet potřeby vody pro plodiny). Fao, Řím, 300(9), D05109.

Ahmed, Z.; Gui, D.; Murtaza, G.; Yunfei, L.; Ali, S. An Overview of Smart Irrigation Management for Improving Water Productivity under Climate Change in Drylands. *Agronomy* 2023, 13, 2113.

Akinagbe .M a Irohibe I. J (2014). Zemědělské adaptační strategie na dopady změny klimatu v Africe: přehled. *Bangladesh J. Agril. Res.* 39(3): 407-418.

Alberto Boretti A, Rosa L. (2019). Přehodnocení prognóz Světové zprávy o rozvoji vodních zdrojů. *Clean Water* (2019) 2:15 ; <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>.

Al-Jamal, M. S., Ball, S., & Sammis, T. W. (2001). Srovnání účinnosti zavlažování postřikovačem, tryskovou závlahou a zavlažováním brázdami při pěstování cibule. *Agricultural water management*, 46(3), 253-266.

Allen R, Pereira L. S, Raes D ve Smith M (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements (Evapotranspirace plodin - pokyny pro výpočet potřeby vody pro plodiny). FAO Irrigation and Drainage Paper. No: 56. Řím. Amare, T. (2016). Review on Impact of Climate Change on Weed and Their Management (Přehled dopadů změny klimatu na plevele a jejich management). *American Journal of Biological and Environmental Statistics*. Vol. 2, No. 3, pp. 21-27. doi:

10.11648/j.ajbes.20160203.12.

Anderson, W.K a Siddique K.H.M (2015). The role and value of crop residues in dryland agriculture (Úloha a hodnota rostlinných zbytků v suchozemském zemědělství). *Indian Journal of Agronomy* 60 (3): 332-340.

Barnett T, Adam J, Lettenmaier D. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 2005, 438:303-309.



Co-funded by
the European Union



- Bates B, Kundzewicz Z, Wu S, Palutikof J. Climate change and water. Technický dokument Mezivládního panelu pro změnu klimatu. Ženeva, Švýcarsko: Sekretariát IPCC; 2008.
- Beniston M. Propojení extrémních klimatických jevů a ekonomických dopadů: příklady ze švýcarských Alp. *Energy Policy* 2007, 35:5384-5392.
- Bhardwaj A, Kumar M, Alshehri M, Keshta I, Abugabah A a Sharma SK (2022) Smart water management framework for irrigation in agriculture, *Environmental Technology*, DOI: 10.1080/09593330.2022.2039783.
- Bisselink B., Bernhard J., Gelati E., Adamovic M., Guenther S., Mentaschi L., Feyen L., and de Roo, A, Climate change and Europe's water resources, EUR 29951 EN, Úřad pro publikace Evropské unie, Lucemburk, 2020, ISBN 978-92-76-10398-1, doi:10.2760/15553, JRC118586.
- Bruinsma, J. 2009. Výhled zdrojů do roku 2050. Setkání odborníků na téma Jak uživit svět v roce 2050. FAO, Řím.
- Bozkurt, Deniz & Sen, Omer. (2012). Dopady změny klimatu v povodí Eufratu a Tigridu na základě různých modelových a scénářových simulací. *Journal of Hydrology*. 480. 10.1016/j.jhydrol.2012.12.021.
- Burek, P. et al. Water Futures and Solution: (závěrečná zpráva). IIASA Working Paper (Mezinárodní institut pro aplikovanou systémovou analýzu (IIASA), Laxenburg, Rakousko, 2016).
- Calanca P. Změna klimatu a výskyt sucha v alpské oblasti: jak závažné jsou extrémy? *Glob Planet Change* 2007, 57:151-160.
- Carruthers, I., Rosegrant, M. W., & Seckler, D. (1997). Zavláňování a potravinová bezpečnost v 21. století. *Irrigation and Drainage Systems*, 11, 83-101.
- Ciais P, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogée J, Allard V, Aubinet M, Buchmann N, Bernhofer C, Carrara A, et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 2005, 437:529-533.
- Chen, X.; Qi, Z.; Gui, D.; Gu, Z.; Ma, L.; Zeng, F.; Sima, M.W. A model-based real-time decision support system for irrigation scheduling to improve water productivity. *Agronomy* 2019, 9, 686.
- Chen, X.; Feng, S.; Qi, Z.; Sima, M.W.; Zeng, F.; Li, L.; Wu, H. Optimizing Irrigation Strategies to Improve Water Use Efficiency of Cotton in Northwest China Using RZWQM2. *Agriculture* 2022, 12, 383.



Co-funded by
the European Union



- Komplexní hodnocení. 2007. Voda pro potraviny, voda pro život: komplexní hodnocení hospodaření s vodou v zemědělství, D. Molden, ed. London, Earthscan a Colombo, International Water Management Institute.
- Çakmak B, Tanrıvermiş H, Benli B (1999). Türkiye'de Sulama ve Tarımsal Kalkınma. VII. Kültürteknik Kongresi, 17-25. Kapodakya.
- Çakmak B, Yıldırım M, Aküzüm T (2008). Türkiye'de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, 215-224, Ankara.
- Çakmak, B., Yıldırım, M., & Aküzüm, T. (2008). Türkiye'de tarımsal sulama yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi.
- Davidson, N. C. Kolik mokřadů svět ztratil? Dlouhodobé a nedávné trendy v rozloze světových mokřadů. *Mar. Freshw. Res.* 65, 934-941 (2014).
- Dellal, I., McCarl, B.A., Butt, T. (2011). The Economic Assessment of Climate Change on Turkish Agriculture (Ekonomické hodnocení změny klimatu v tureckém zemědělství), *Journal of Environmental Protection and Ecology*, Vol: 12, No: 1, 376-385.
- Deveci, H. (2015). Modelování vlivu změny klimatu na zdroje povrchové vody, půdní vláhu a výnosy rostlin v oblasti Thrákie. Doktorská práce Tekirdag Namik Kemal university.
- Debaeke P, Aboudrare A. Adaptation of crop management to water-limited environments, *European Journal of Agronomy*, 2004, vol. 21 (pg. 433-446).
- DSİ 2021. DSİ 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499> Erişim 13.01.2023
- DSİ2023. Toprak Su Kaynakları. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>.
- Eitzinger J, Trnka M, Semerádová D, Thaler S, Svobodová E, Hlavinka P, Šiška B, Takáč J, Malatinská L, Nováková M, et al. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe- hotspots, regional differences and common trends. *J Agric Sci* 2013, 151:787-812.
- English, M. J., Solomon, K. H., & Hoffman, G. J. (2002). Změna paradigmatu v řízení zavlažování. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 128(5), 267-277.
- Eurostat (2016): Statistika zemědělství, lesnictví a rybolovu. Webové stránky Eurostatu Eurostat, Lucemburk. Available at <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7777899/KS-FK-16-001-EN-N.pdf/cae3c56f-53e2-404a-9e9e-fb5f57ab49e3> (19.09.2023).



Co-funded by
the European Union



- Falkenmark M, Rockström J. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. *J Water Resour Plann Manage* 2006, 132:129-132.
- Falkenmark, 1986 M. Falkenmark Čerstvá voda - čas pro modifikovaný přístup *Ambio*, 15 (4) (1986), s. 192-200.
- Farooq, M. a Siddique, K.H.M. (2015). Conservation Agriculture: Koncepce, stručná historie a dopady na zemědělské systémy. (In) Conservation Agriculture, Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), s. 3-17, Springer International Publishing Switzerland.
- FAO, 2003. Výzva zavlažování. Issues paper 4. Organizace OSN pro výživu a zemědělství Řím.
- FAO, 2023a. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> Erişim: 10.10.2023
- FAO, 2023b. CropWat. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/> Erişim 20.10.2023
- FAO a Národní centrum pro zmírňování následků sucha (NDMC). 2008. The Near East drought planning manual: Guidelines for drought mitigation and preparedness planning [Příručka pro plánování sucha na Blízkém východě: pokyny pro plánování zmírňování následků sucha a připravenosti na ně]. Organizace OSN pro výživu a zemědělství, Regionální úřad pro Blízký východ, Káhira a University of Nebraska-Lincoln, National Drought Mitigation Center.
- FAO. 2010. Zemědělství "chytré ke klimatu": politiky, postupy a financování pro zajištění potravin, přizpůsobení a zmírnění dopadů. Řím.
- FAO. (2013). Climate Smart Agriculture Sourcebook. Rome. <https://www.fao.org/climatechange/37491-0c425f2caa2f5e6f3b9162d39c8507fa3.pdf>.
- Globální hodnocení lesních zdrojů FAO 2015: Jak se mění světové lesy? Druhé vydání (FAO, Řím, 2016). www.fao.org/3/a-i4793e.pdf.
- FAO/Mezivládní technický panel pro půdy (AO/ITPS). Stav světových půdních zdrojů (SWSR) - hlavní zpráva. (FAO, Řím, 2015). www.fao.org/3/a-i5199e.pdf.
- FAO (Potravinový a zemědělský orgán OSN). 2020. AQUASTAT - globální informační systém FAO o vodě a zemědělství. *Organizace OSN pro výživu a zemědělství*. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.
- FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture- Managing Systems at Risk; Organizace OSN pro výživu a zemědělství: Řím, Itálie, 2011. Organizace spojených národů: Řím, Itálie, 2012.



Co-funded by
the European Union



- FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture-Systems at Breaking Point (SOLAW 2021); Organizace OSN pro výživu a zemědělství: Řím, Itálie, 2021.
- FAO. Stav potravinářství a zemědělství 2017. Leveraging Food Systems for Inclusive Rural Transformation; Organizace OSN pro výživu a zemědělství: Řím, Itálie, 2017.
- Faurès, J.M., Bernardi, M. & Gommès, R. 2010. Nic takového jako průměr neexistuje: jak zemědělci zvládají nejistotu spojenou s klimatem a dalšími faktory. *International Journal of Water Resources Development*, 26: 4, 523-542.
- Spolkové ministerstvo Rakouské republiky - zemědělství, regiony a cestovní ruch. Umweltbundesamt: Helga Lindinger, Johannes Grath, Heike Brielmann, Arnulf Schönbauer, Ingrid Gattringer, Christina Formanek, Martine Broer, Thomas Rosmann; Ingenieurbüro Holler: Christian Holler, Manfred Szerencsits; BOKU: Roman Neunteufel, Nadine Sinemus, Maximilian Grunert, Verena Germann. Vedoucí projektu: Mgr: Günter Liebel, Ernst Überreiter. Fotografie: M: Ernst Formann (titulní foto: Kläfferquelle S.1). (2021). *Vodní poklad Rakouska*. Stubenring 1, 1010 Wien Zajímavosti v okolí.
- Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, et al. 2014. Shrnutí pro tvůrce politik. In *Změna klimatu 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (Dopady, adaptace a zranitelnost)*. Část A: Globální a odvětvové aspekty. Příspěvek pracovní skupiny II k páté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu, vyd. CB Field, VR Barros, DJ Dokken, KJ Mach, MD Mastrandrea a další, s. 1-32. Cambridge, Velká Británie/New York: Cambridge Univ. Press.
- Fischhendler I, Zilberman D. **2005**. Balíček politik pro reformu vodního hospodářství: případ zákona o zlepšení projektu Central Valley. *Water Resour. Res.* 41:W07024.
- Gampe D, Nikulin G, Ludwig R. 2016. Využití souboru regionálních klimatických modelů k posouzení dopadů změny klimatu na nedostatek vody v evropských povodích. *Sci. Total Environ.* 573:1503-18.
- García-Herrera R, Díaz J, Trigo R, Luterbacher J, Fischer E. A review of the European summer heat wave of 2003. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2010, 40:267-306.
- Gosling SN, Arnell NW. 2016. Globální hodnocení dopadu změny klimatu na nedostatek vody. *Clim. Change* 134:371-8510.
- Gleick PH, Coley H 2021. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 46:319-348 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>.



Co-funded by
the European Union



- Gommes, R., Acunzo, M., Baas, S., Bernardi, M., Jost, S., Mukhala, E. & Ramasamy, S. 2010. Communication approaches in applied agrometeorology (Komunikační přístupy v aplikované agrometeorologii), In K. Stigter, ed. Applied Agrometeorology, pp. 263-287, Heidelberg, Springer.
- Güngör, Y., Erözel, Z., ve Yıldırım, O. 2004 Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1540, Ankara.
- Hagg W, Braun L, Kuhn M, Nesgaard T. Modelování hydrologické odezvy na změnu klimatu v zaledněných povodích střední Asie. J Hydrol 2007, 332:40-53.
- Skupina odborníků na vysoké úrovni pro potravinovou bezpečnost a výživu (HLPE). 2012. Změna klimatu a potravinová bezpečnost. Zpráva HLPE Výboru pro světovou potravinovou bezpečnost, Řím. Mezivládní panel pro změnu klimatu. (2014). Změna klimatu 2014: dopady, adaptace a zranitelnost. Příspěvek pracovní skupiny II k páté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu. Cambridge, Spojené království. a New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC, 2007: Změna klimatu 2007: Souhrnná zpráva. Příspěvek pracovních skupin I, II a III ke čtvrté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu [Core Writing Team, Pachauri, R.K a Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Ženeva, Švýcarsko, 104 s.
- IPCC. Řízení rizik extrémních jevů a katastrof s cílem přispět k adaptaci na změnu klimatu: Zvláštní zpráva Mezivládního panelu pro změnu klimatu. Cambridge a New York: Cambridge University Press; 2012.
- IPCC. Změna klimatu 2013: Příspěvek pracovní skupiny I páté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu. Cambridge a New York: Cambridge University Press; 2013.
- IPCC. Změna klimatu 2014: Část A: Globální a odvětvové aspekty. Příspěvek pracovní skupiny II k páté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu. Cambridge a New York: Cambridge University Press; 2014.
- IPCC. Změna klimatu 2014: Část B: Regionální aspekty. Příspěvek pracovní skupiny II k páté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu. Cambridge a New York: Cambridge University Press; 2014.
- Kadioglu, M., Unal, Y, Ilhan, A. a Yuruk, C. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik. Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekler Federasyonu Yayını.



Co-funded by
the European Union



<https://www.tgdf.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/iklim-degisikligi-rapor-elma.compressed.pdf>.

- Karasekreter, N.; Basciftci, F.; Fidan, U. Nový návrh zavlažovacího plánu pomocí umělé neuronové sítě. *J. Exp. Theor. Artif. Intell.* 2013, 25, 93-104.
- Karam, F., Saliba, R., Skaf, S., Breidy, J., Rouphael, Y., & Balendonck, J. (2011). Výnosy a spotřeba vody lilku (*Solanum melongena* L.) při plném a deficitním režimu zavlažování. *Agricultural Water Management*, 98(8), 1307-1316.
- Kıbaroğlu, A., Sağsen, İ., Kaplan, Ö., Sümer, V., 2006. Türkiye' nin Su Kaynakları Politikasına kapsamlı bir bakış: Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve İspanya örneği. TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23 Mart 2006, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, Ankara, s.184-194.
- Knutson T, Tuleya R. Impact of CO₂-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization. *J Clim* 2004, 17:3477-3495.
- Konukcu, F., Albut, S. Ve Altürk A. (2019). TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 46-60.
- Kundzewicz ZW, Mata LJ, ArnellNW, Döll P, Jimenez B, Miller K, Oki T, Sen Z, Shiklomanov I. Freshwater resources and their management. In: Parry M, Canziani O, Palutikof J, van der Linden P, Hanson C, eds. *Změna klimatu 2007: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Impacts Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
- Lakhran, H., Kumar, S., and Bajjiya, R., (2017). Diverzifikace plodin: An Option for Climate Change Resilience (Možnost odolnosti vůči změně klimatu). *Trends in Biosciences* 10(2), 516-518, 2017.
- Lal, R. (2010). A dual response of conservation agriculture to climate change: reducing CO₂ emissions and improving the soil carbon sink (Dvojitá reakce ochrannářského zemědělství na změnu klimatu: snižování emisí CO₂ a zlepšování propadu uhlíku v půdě). (In) *Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture-Towards Agro-environmental Climate and Energetic Sustainability*, Madrid, Spain, 4-7 October 2010. pp. 3-18.
- Li, J., Smith, D. W., Fityus, S. G., & Sheng, D. (2003). Numerická analýza měření vlhkosti neutronovou sondou. *International Journal of Geomechanics*, 3(1), 11-20.



Co-funded by
the European Union



- Lobell D, Hammer G, McLean G, Messina C, Roberts M, Schlenker W. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nat Clim Change* 2013, 3:497- 501.
- Loss, S., Haddad, A., Khalil, Y., Alrijabo, A., Feindel, D. a Piggan, C. (2015). Vývoj a adaptace konzervačního zemědělství na Blízkém východě. (In) Farooq, M., Siddique, K. H.M. (Eds.) *Conservation Agriculture*. Springer International Publishing Switzerland. str. 197-224.
- Martínez, J., & Reca, J. (2014). Účinnost využití vody při povrchové kapkové závlaze ve srovnání s alternativní metodou podpovrchové kapkové závlahy. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(10), 04014030.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. Čtyři miliardy lidí čelí vážnému nedostatku vody. *Sci. Adv.* 2, e1500323 (2016).
- Mann ME, Gleick PH. 2015. Změna klimatu a kalifornské sucho v 21. . PNAS 112:3858-59.
- Meehl G, Tebaldi C. Intenzivnější, častější a déle trvající vlny veder v 21. století. *Science* 2004, 305:994-997.
- Mínguez M, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona C, Quemada M, Sau F. Dopady prvního řádu na ozimé a letní plodiny hodnocené pomocí různých klimatických modelů s vysokým rozlišením na Pyrenejském poloostrově. *Clim Change* 2007, 81:343-355.
- Mishra A, Singh V. A review of drought concepts. *J Hydrol* 2010, 391:202-216.
- Mueller Schmied H, Adam L, Eisner S, Fink G, Flörke M, et al. 2016. Změny globálních a kontinentálních složek vodní bilance ovlivněné nejistotou klimatických vlivů a využíváním vody člověkem. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20:2877-9811.
- Muluk ÇB., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan MA., Balkız Ö., Gümrükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U. Türkiye'de Suyun Durumu Ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi. 2013.
- Murdoch P, Baron J, Miller T. Potenciální účinky změny klimatu na kvalitu povrchových vod v Severní Americe. *J Am Water Resour Assoc* 2000, 36:347-366.
- Molle F, Mollinga P. 2003. Indikátory chudoby v oblasti vody: koncepční problémy a politické otázky. *Water Policy* 5:529-44.
- Nelson GC, Rosegrant MW, Koo J, Robertson R, Sulser T, Zhu T, Ringler C, Msangi S, Palazzo A, Batka M, et al. *Climate Change Impacts on Agriculture and Costs of Adaptation*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; 2009.



Co-funded by
the European Union



- Ohmura A, Wild M. Zrychluje se hydrologický cyklus? Science 2002, 298:1345-1346.
- Oweis, T. a Hachum, A. (2012) Doplnkové zavlažování. In: A highly efficient water-use practice. Aleppo, Sýrie: Mezinárodní centrum pro zemědělský výzkum v suchých oblastech (ICARDA).
- Oweis, T., Hachum, A., & Pala, M. (2004). Produkce čočky při doplnkovém zavlažování ve středomořském prostředí. *Agricultural water management*, 68(3), 251-265.
- Razouk, R., Ibijbijen, J., & Kajji, A. (2013). Optimální doba doplnkové závlahy během vývoje plodů olivovníku evropského (*Olea europaea*, cv. Picholine Marocaine) v Maroku. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(4), 685-697.
- Rodell M, Beaudoin HK, L'Ecuyer T, Olson WS, Famiglietti JS, et al. 2015. Pozorovaný stav koloběhu vody na počátku jednadvacátého století. *J. Climate* 28:8289-318.
- Rasheed, M. W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M. U., ... & Sultan, M. (2022). Techniky měření vlhkosti půdy a faktory ovlivňující dynamiku vlhkosti: A comprehensive review. *Sustainability*, 14(18), 11538.
- Rosegrant M, Cai X, Cline S. World Water and Food to 2025: S. C.: Jak se vypořádat s nedostatkem. International Food Policy Research Institute & International Water Management Institute: Washington, DC a Colombo; 2002
- Rosenzweig C, Iglesias A, Yang X, Epstein P, Chivian E. Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. *Glob Change Hum Health* 2001, 2:90-104.
- Schewe J, Heinke J, Gerten D, Haddeland I, Arnell NW, Clark DB, Dankers R, Eisner S, Fekete BM, Colón-González FJ, et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 2014, 111:3245-3250.
- Schwilch, G., Laouina, A., Chaker, M., Machouri, N., Sfa, M. And Stroosnijder, L. (2013). Challenging conservation agriculture on marginal slopes in Sehoul, Morocco (Náročné ochrannárske zemědělství na okrajových svazích v Sehoulu v Maroku). *Renewable Agriculture and Food Systems*: dostupné na <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=9095422>.
- Schmidhuber J, Tubiello F. Global food security under climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 2007, 104:19703-19708.
- Seneviratne SI, Corti T, Davin EL, Hirschi M, Jaeger EB, Lehner I, Orlowsky B, Teuling AJ. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: a review. *Earth-Sci Rev* 2010, 99:125-161.



Co-funded by
the European Union



- Sheffield J, Wood E, Roderick M. Malá změna globálního sucha za posledních 60 .
Nature 2012, 491:435-438.
- Shiklomanov IA, Balonishnikova JA. 2003. Využívání vody ve světě a její dostupnost: trendy, scénáře, důsledky. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ. 281:358-64.
- Shukla, S.K. (2017). Basic Description of Soil and Soil Reinforcement (Základní popis zemin a zpevňování zemin). In: Fundamentals of Fibre-Reinforced Soil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3063-5_1.
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P. & Portmann, F. T. 2010. Využívání podzemní vody k zavlažování - globální přehled. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 1863-1880.
- Sommer, R., Piggín, C., Haddad, A., Hajdibo, P., Hayek, P. And Khalil, Y. (2012). Simulace vlivu nulového zpracování půdy a zadržování rostlinných zbytků na vodní poměry a výnos pšenice v polosuchých středomořských podmínkách. Field Crops Research 132: 40- 52.
- Taylor RG, Scanlon B, Döll P, Rodell M, van Beek R, Wada Y, Longuevergne L, Leblanc M, Famiglietti JS, Edmunds M, et al. Ground water and climate change. Nat Clim Change 2013, 3:322-329.
- Tejero, I. G., Zuazo, V. H. D., Bocanegra, J. A. J., & Fernández, J. L. M. (2011). Zlepšení účinnosti využití vody pomocí programů deficitního zavlažování: Důsledky pro úsporu vody v citrusových sadech. Scientia Horticulturae, 128(3), 274-282.
- Trenberth, K. E. et al. in Změna klimatu 2007: The Physical Science Basis (eds Solomon, S. et al.) 235-336 (IPCC, Cambridge Univ. Press, 2007).
- Trout T.J. a Martin D.L. (2020). Deficit Irrigation Strategies for the Western U.S. American Society of Agricultural and Biological Engineers (Strategie deficitního zavlažování pro západ USA). 63(6): 1813-1825.
- Turrall H, Burke J, Faurès J. Climate Change, Water and Food Security. Řím: Organizace spojených národů pro výživu a zemědělství; 2011.
- Tsang, S.W.; Jim, C.Y. Použití modelování pomocí umělé inteligence k optimalizaci zavlažování zelených střeš. Energy Build. 2016, 127, 360-369.
- Umair, S.; Muhammad, R.U. Automatizace zavlažovacího systému pomocí regulátoru založeného na ANN.
Int. J. Elec. Comp. Sci. 2010, 10, 41-47.



Co-funded by
the European Union



- Uygan, D., Cetin, O., Alveroglu, V., & Sofuoglu, A. (2021). Zlepšení úspory vody a ekonomické produktivity na základě kótování s cukernatostí cukrové řepy při použití lineárního pohybového zavlažování. *Agricultural Water Management*, 255, 106989.
- Wada Y, Bierkens MF. 2014. Udržitelnost globálního využívání vody: rekonstrukce v minulosti a prognózy do budoucna. *Environ. Res. Lett.* 9:104003.
- Wada, Y. et al. Modelování globálního využití vody pro 21. století: Iniciativa Water Futures and Solutions (WfAS) a její přístupy. *Geosci. Model Dev.* 9, 175-222 (2016).
- Wang D, Hejazi M, Cai X, Valocchi A. Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois. *Water Resour Res* 2011, 47.
- Wilhite DA, Glantz MH. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions (Porozumění fenoménu sucha: role definic). *Water Int.* 10:111-20.
- Wisser D, Fekete BM, Vörösmarty C, Schumann A. 2010. Rekonstrukce globální hydrografie 20. století: příspěvek ke Globální pozemní síti - hydrologii (GTN-H). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14:1-24.
- WDR, 2003: Světová zpráva o katastrofách: WDR: Focus on Ethics in Aid. Mezinárodní federace společností Červeného kříže a Červeného půlměsíce, Ženeva, 240 s.
- WDR, 2004: Světová zpráva o katastrofách: WDR: Focus on Community Resilience (Zaměření na odolnost komunit). Mezinárodní federace společností Červeného kříže a Červeného půlměsíce, Ženeva, 240 s.
- Ximing Cai, Xiao Zhang, Paul H. Noël a Majid Shafiee-Jood Dopady změny klimatu na zemědělské vodní hospodářství: přehled. *WIREs Water* 2015, 2:439-455. doi: 10.1002/wat2.1089.
- Zegbe, J. A., & Servín-Palestina, M. (2021). Doplnkové zavlažování pro úsporu vody při pěstování kaktusové hrušky v polosuchých oblastech. *Irrigation and Drainage*, 70(2), 269-280.
- Zhang X, Cai X. Dopady změny klimatu na globální nedostatek vody v zemědělství. *Geophys Res Lett* 2013, 40:1111-1117.