

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroekologie a rostlinné produkce



Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Dopady extrémního počasí na vybrané zemědělské plodiny

Diplomová práce

Bc. et Bc. Martina Karlíková
Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: Dr. Ing. Martin Možný

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Dopady extrémního počasí na vybrané zemědělské plodiny" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

V první řadě bych ráda poděkovala mému vedoucímu práce Dr. Ing. Martinu Možnému z Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v Praze, za jeho velkou ochotu, celkovou odbornou pomoc, trpělivé jednání a cenné informace, návrhy a připomínky při vedení mé diplomové práce a jeho otevřenost v jednání.

Velké poděkování také patří mé rodině a nejbližším za jejich ochotu věřit, jejich povzbuzování k výkonu a za velkou morální a technickou podporu, speciálně mému manželovi.

Dopady extrémního počasí na vybrané zemědělské plodiny

Současné klimatické scénáře a měnící se počasí nejen České krajiny vykazují dle střednědobých výhledů, teplotní nárůst o cca 1 °C pro všechna roční období na všech územích. Pro Českou republiku jako oblast střední Evropy pozorujeme nárůst teplot v jarních a letních měsících více než v těch podzimních a zimních. V otázkách srážek je Střední Evropa oblast ležící v regionu střídání dvou vlivů, tedy setkávání abnormálních nárazových srážek s periodami sucha, čelila nečekaným změnám a velmi nevyváženému srážkovému období. Nárůst teplot vedl ke zkrácení fenologických fází rostlin a významnému prodloužení vegetačního období, přezimování nechtěných plevelů nebo ubývání zimní sněhové pokrývky potřebné jako ochrana rostlin před mrazy. To vše ovlivnilo tvorbu výnosu zemědělských plodin. Změna s sebou přináší i ovlivnění životních cyklů škůdců a jejich predátorů nebo vektory chorob rostlin. Nárůst teploty vzduchu, úbytek srážek, změna jejich rozložení v průběhu roku a větší výskyt hydrometeorologických extrémů jako třeba nízká vrstva sněhové pokrývky a následné holomrazy, znamená vyšší riziko výskytu sucha a problémy s obděláváním půdy. Práce se zaměřila na analýzu a popis veškerých extrémů nacházejících se na území ČR s praktickou ukázkou jejich vlivů na zemědělských plodinách jako jsou obiloviny, kukuřice, chmel, vinná réva a meruňky. Byl zjištěn evidentní nárůst počtu tropických dní, horkých vln, snižující se množství půdní vláhly a narůstající agronomické sucho spojené právě s nedostatečnou půdní vlhkostí a pěstováním plodin. Nedostatkem vláhly trpí nejvíce chmel, který je nutný zavlažovat. Po posunu vývojových fází rostlin jsme registrovali jejich větší náchylnost k poškození mrazem, silným nárazovým větrem, nečekanými přísunem velkého množství vody nebo naopak totálního nedostatku srážek. Byly odhaleny stále častější a méně předpověditelné výnosové regionální variability. Dle zjištěných parametrů lze očekávat posun hlavních produkčních oblastí z nižších poloh do poloh s vyšší nadmořskou výškou. Nejvíce se tento posun dotkne révy vinné, která je jakýmsi prvním ukazatelem změn klimatu. Je taktéž nutné zavést nové adaptační technologie zpracování půd jako je například striptil, efektivní využití minimalizace nebo dokonce no-till, zachytávání většího množství vody v krajině nebo podpora šlechtění suchovzdorných a mrazuvzdorných odrůd jednotlivých plodin. Využití nových metod bude mít protierozní efekt a zároveň bude mít výsledky v adekvátních výnosech v biomase, siláži nebo výnosu na zrno. Popis a analýza extrémních vlivů počasí na zemědělskou oblast povede k jejich pochopení a možnosti celkové adaptace lidstva na měnící se životní a agronomické podmínky.

Klíčová slova: klimatická změna, zemědělské plodiny, extrémní počasí, srážky, sucho, holomrazy, výnosy, produkce a kvalita

Impacts of extreme weather on selected agricultural crops

According to the medium-term perspective, the current climatic scenarios and changing weather not only in the Czech landscape show a temperature increase of approx. 1 °C for all annual periods in all areas. For the Czech Republic as a region of Central Europe, we observe an increase in temperatures in the spring and summer months more than in the autumn and winter months. In terms of precipitation, Central Europe, as an area in the region of alternating two influences, ie encountering abnormal impact precipitation with periods of drought, has faced unexpected changes and a very unbalanced precipitation period. The increase in temperatures has led to a shortening of the phenological phase of the plants and a significant extension of the growing season, overwintering of unwanted weeds or a decrease in the winter snow cover needed to protect the plants from frosts. All this has affected the production of crop yields. The change also affects the life cycles of pests and their predators or plant disease vectors. An increase in air temperature, a decrease in precipitation, a change in their distribution throughout the year and a greater occurrence of hydrometeorological extremes, such as a low layer of snow cover and subsequent holofrosts, mean a higher risk of drought and tillage problems. The work focused on the analysis and description of all extremes located in the Czech Republic with a practical demonstration of their effects on agricultural crops such as cereals, corn, hops, vines and apricots. An evident increase in the number of tropical days, hot waves, decreasing soil moisture and increasing agronomic drought associated with insufficient soil moisture and crop production were found. Hops, which need irrigation, suffer most from a lack of moisture. After a shift in the developmental stages of plants, we registered their greater susceptibility to damage from frost, strong gusts of wind, unexpected supplies of large amounts of water or, conversely, a total lack of precipitation. Increasingly frequent and less predictable regional yield variability was revealed. According to the identified parameters, a shift of the main production areas from lower positions to positions with a higher altitude can be expected. This shift will be most affected by the vine, which is the first indicator of climate change. It is also necessary to introduce new adaptive tillage technologies such as strip-till, efficient use of minimization or even no-till, capture of more water in the landscape or support for the breeding of drought-resistant and frost-resistant varieties of individual crops. The use of new methods will have an anti-erosion effect and at the same time will have results in adequate yields in biomass, silage or grain yield. The description and analysis of the extreme effects of weather on the agricultural area will lead to their understanding and the possibility of the overall adaptation of humanity to changing living and agronomic conditions.

Keywords: climate change, agricultural crops, weather extremes, precipitation, drought, black frost, yields, production and quality

Obsah

1	Úvod	- 1 -
2	Cíle práce a vědecká hypotéza	- 3 -
3	Literární rešerše	- 4 -
3.1	Teoretická část	- 4 -
3.1.1	Základní údaje o počasí v České republice	- 5 -
3.1.2	Analýza extrémního počasí zaměřená na oblast zemědělství	- 8 -
3.1.3	Základní údaje o stavu zemědělství v České republice.....	- 24 -
3.1.4	Dopady změn klimatu na zemědělství ČR	- 26 -
3.1.5	Dopady změn klimatu na zemědělské výrobní oblasti.....	- 28 -
3.2	Praktická část	- 30 -
3.2.1	Obilniny (<i>Poaceae</i>)	- 32 -
3.2.2	Kukuřice (<i>Zea mays</i>)	- 39 -
3.2.3	Chmel (<i>Humulus lupulus</i>)	- 43 -
3.2.4	Réva vinná (<i>Vitis vinifera</i>)	- 47 -
3.2.5	Meruňky (<i>Prunus armeniaca</i>).....	- 53 -
3.2.6	Adaptační opatření	- 56 -
4	Metodika	- 59 -
5	Výsledky a diskuze	- 60 -
5.1	Teplotní a srážkový přehled na území ČR	- 60 -
5.2	Vyhodnocení pro jednotlivé plodiny	- 71 -
5.2.1	Analýza pěstování obilovin.....	- 72 -
5.2.2	Analýza pěstování kukuřice	- 75 -
5.2.3	Analýza pěstování chmele.....	- 78 -
5.2.4	Analýza pěstování révy vinné	- 85 -
5.2.5	Analýza pěstování meruněk	- 89 -
6	Závěr	- 93 -
7	Literatura	- 95 -

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SLOŽKY KLIMATICKÉHO SYSTÉMU (ČHMÚ 2022)	- 5 -
OBRÁZEK 2: PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA V ČR (FAKTAOKLIMATU 2022)	- 6 -
OBRÁZEK 3: TREND RŮSTU PRŮMĚRNÝCH MĚSÍČNÍCH TEPLOT V ČR (FAKTAOKLIMATU 2022)	- 6 -
OBRÁZEK 4: SROVNÁNÍ PRŮMĚRNÉ ROČNÍ TEPLoty VZDUCHU V OBDOBÍ 1991–2020 PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE, ROČNÍ OBDOBÍ A ROKY VŮČI CELKOVÉMU 220LETÉMU PRŮMĚRU 1801–2020 (KLIMATICKAZMENA 2022)	- 8 -
OBRÁZEK 6: HODNOTY PRŮMĚRNÉ ROČNÍ TEPLoty VZDUCHU V ČESKÉ REPUBLICE ZA OBDOBÍ 1775 AŽ 2020 (KLIMATICKAZMENA 2022)	- 9 -
OBRÁZEK 7: VODNÍ BILANCE PŮDNÍ VODY (BRÁZDIL ET AL. 2015).....	- 9 -
OBRÁZEK 8: SNIŽUJÍCÍ SE POČET LEDOVÝCH DNÍ V ZIMÁCH OD ROKU 1961 DO 2020 (KLIMATICKAZMENA 2022)	- 11 -
OBRÁZEK 9: PRŮMĚRNÝ POČET DNŮ SE SNĚHOVOU POKRÝVKOU >10 CM (KLIMATICKAZMENA 2022)	- 12 -
OBRÁZEK 10: DŮSLEDKY JEDNOTLIVÝCH DÉLEK TRVAJÍCÍHO SUCHA (ZAHRADNÍKOVÁ 2018)	- 14 -
OBRÁZEK 11: STUPNICE INTENZITY SUCHA A KORESPONDUJÍCÍ BAREVNÁ ŠKÁLA (INTERSUCHO 2022).....	- 15 -
OBRÁZEK 12: SCHÉMA MODELU SOILCLIM (BRÁZDIL ET AL. 2015)	- 16 -
OBRÁZEK 13: PROCENTUÁLNÍ VYJÁDRĚNÍ OBSAHU VODY V PŮDĚ ZE ZAČÁTKU ROKU 2022 (INTERSUCHO 2022).....	- 16 -
OBRÁZEK 14: PRO POROVNÁNÍ - MÍRA NASYCENÍ PŮDNÍHO PROFILU Z 27.BŘEZNA (INTERSUCHO 2022)	- 17 -
OBRÁZEK 15: INTENZITA SUCHA A JEJÍ PŘEDPOVĚĎ NA 10 DNÍ OD 1/4 DO 10/4/2022 (INTERSUCHO 2022)	- 18 -
OBRÁZEK 16: MAPA INTENZITY SUCHA DOPLNĚNÁ O ROZDĚLENÍ JEDNOTLIVÝCH POVRCHOVÝCH VRSTEV (INTERSUCHO 2022)	- 19 -
OBRÁZEK 17: INFORMACE O STAVU VEGETACE (INTERSUCHO 2022)	- 19 -
OBRÁZEK 18: VYMEZENÍ 90 % KVANTILU MAXIMÁLNÍ DENNÍ TEPLoty VZDUCHU Z JEJÍHO LETNÍHO ROZDĚLENÍ (KLIMAWEB 2022)	- 20 -
OBRÁZEK 19: UKÁZKA VLNY VEDER V OBDOBÍ 3.-15.8.2015 S EXTREMITOU 40,1 °C V PRŮBĚHU 13DNÍ PŘI 93% POKRYTÍ PLOCHY (KLIMAWEB 2022)	- 21 -
OBRÁZEK 20: PRŮMĚRNÝ ROČNÍ CHOD SRÁŽEK V LETECH 1982-2016 (KLIMAWEB 2022)	- 23 -
OBRÁZEK 21: PŘEHLED TRVALE ZAMOKŘENÝCH PŮD V ČR (VÚMOP 2020)	- 24 -
OBRÁZEK 22: ZEMĚDĚLSKÁ PRODUKCE V ROCE 2020 V POROVNÁNÍ S ROKEM 2002 (STATISTIKA&MY 2021)	- 25 -
OBRÁZEK 23: SNIŽUJÍCÍ SE POČET MRAZOVÝCH DNÍ V ZIMÁCH OD ROKU 1961 DO 2020 (KLIMATICKAZMENA 2022)	- 27 -
OBRÁZEK 24: VÝVOJ ZEMĚDĚLSKÝCH VÝROBNÍCH OBLASTÍ MEZI LETY 1961-2000 A 2000-2019 (AGROBASE 2021)	- 29 -
OBRÁZEK 25: ÚZEMÍ ČR KATASTRÁLNĚ ROZDĚLENÉ DLE PŘÍSLUŠNÉ VÝROBNÍ OBLASTI ROZDĚLENÉ DLE PŘEVAŽUJÍCÍCH AGROKLIMATICKÝCH PODMÍNEK ZÁROVEŇ S KVALITOU PŮDY DANÉHO REGIONU (ZNÁZORNĚNO BARVOU A ČÍSLY 1-3). DOMINANTNÍ SKLON ZEMĚDĚLSKÝCH PŮDNÍCH JEDNOTEK SE TŘEMI TÓNY STÍNOVÁNÍ PŘEDSTAVUJE PŘÍSTUPNOST ORNÉ PŮDY A ZEJMÉNA MÍRU POTENCIÁLNÍHO EROZNÍHO OHROŽENÍ (AGROBASE 2021).....	- 29 -
OBRÁZEK 26: PŘEHLED ROČNÍCH TEPLOT A SRÁŽKOVÝCH SUM V PRŮBĚHU VEGETAČNÍHO OBDOBÍ V LETECH 1971-2022 (ČHMÚ 2022)..	- 31 -
OBRÁZEK 27: OSEVNÍ PLOCHY OBILNIN (ČSÚ 2022)	- 32 -
OBRÁZEK 28: FENOLOGICKÁ STUPNICE JEČMENE (ZIMOLKA & SVOBODA 2008).....	- 36 -
OBRÁZEK 29: POROVNÁNÍ VÝNOSŮ OBOU FOREM PŠENICE A VÝSKYT HLAVNÍCH EXTRÉMŮ SPOJOVANÝCH V DANÉM ROCE S VEGETACÍ A VÝNOSEM PŠENICE (PRÁŠIL ET AL. 2019).	- 38 -
OBRÁZEK 30: VÝVOJ PLOCH A VÝNOSŮ KUKUŘICE PĚSTOVANÉ NA ZRNO (ČSÚ 2023)	- 40 -
OBRÁZEK 31: POROVNÁNÍ ROČNÍCH PRŮMĚRNÝCH SRÁŽEK 2011-2019 (INTERSUCHO 2022)	- 41 -
OBRÁZEK 32: POROVNÁNÍ ROČNÍCH PRŮMĚRNÝCH TEPLOT 2011-2019 (INTERSUCHO 2022)	- 41 -
OBRÁZEK 33 TŘI HLAVNÍ OBLASTI PĚSTOVÁNÍ CHMELU (MZE 2022).....	- 44 -
OBRÁZEK 34: VÝVOJ PLOCH A VÝNOSŮ CHMELE (ČSÚ 2023)	- 45 -
OBRÁZEK 35: VINAŘSKÉ REGIONY V ČR (NVC 2020)	- 48 -
OBRÁZEK 36: POČTY JEDNOTLIVÝCH VINAŘSKÝCH OBCÍ, KATASTRÁLNÍCH ÚZEMÍ A VINIČNÍCH TRATÍ V ČR K 31. 12. 2021 (MZE 2022).....	- 48 -
OBRÁZEK 37: NEJVÍCE PĚSTOVANÉ ODRŮDY V ČR K 31. 12. 2021 V HA (MZE, 2022)	- 49 -
OBRÁZEK 38: POSTUPNĚ SE ZVYŠUJÍCÍ TREND CUKERNATOSTI U RÉVY VINNÉ (NAVRÁTILOVÁ ET AL. 2020)	- 50 -
OBRÁZEK 39: STUPNICE HUGLINOVA INDEXU S JEDNOTLIVÝMI DRUHY ODRŮD A JEJICH POŽADAVKY NA TEPLotu, KTERÁ SE DLE GRAFICKÝCH PŘEDPOVĚDÍ BUDE NEUSTÁLE ZVYŠOVAT (ŽALUD ET AL. 2020; KLIMATICKAZMENA 2022)	- 52 -
OBRÁZEK 40: VÝVOJ PLOCH A VÝNOSŮ MERUNĚK (ČSÚ 2022)	- 54 -
OBRÁZEK 41: POROVNÁNÍ TEPLOT V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH ROKU 2022 S NEJSTARŠÍM NORMÁLEM 1961-1990 (ČHMÚ 2023)	- 60 -

OBRÁZEK 42: POROVNÁNÍ TEPLOT DLOUHODOBÝCH NORMÁLŮ 1981-2010 A 1991-2020 (ČHMÚ 2023)	- 61 -
OBRÁZEK 43: POROVNÁNÍ ÚHRNŮ SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH ROKU 2022 S NORMÁLEM 1961-1990 (ČHMÚ 2023)	- 62 -
OBRÁZEK 44: POROVNÁNÍ SRÁŽEK DLOUHODOBÝCH NORMÁLŮ 1981-2010 A 1991-2020 (ČHMÚ 2021)	- 62 -
OBRÁZEK 45: VZÁJEMNÝ VZTAH PRŮMĚRNÉ ROČNÍ TEPLoty S PRŮMĚRNÝM ROČNÍM ÚHRNEM SRÁŽEK (ČHMÚ 2023)	- 63 -
OBRÁZEK 46: KORELACE SRÁŽEK A TEPLot LET 1998-2022 (ČHMÚ 2023)	- 63 -
OBRÁZEK 47: POROVNÁNÍ TROPICKÝCH A LEDOVÝCH DNÍ NA STANICI KOCELOVICE (ČHMÚ 2023)	- 64 -
OBRÁZEK 48: POROVNÁNÍ TROPICKÝCH A LEDOVÝCH DNÍ NA STANICI BRNO - TUŘANY (ČHMÚ 2023)	- 64 -
OBRÁZEK 49: POROVNÁNÍ TROPICKÝCH A LEDOVÝCH DNÍ NA STANICI MILEŠOVKA (ČHMÚ 2023)	- 65 -
OBRÁZEK 50: PRŮMĚRNÁ STANDARDIZOVANÁ ÚROVEŇ HLADIN VOD CELÉ ČR V ROCE 2018 (ČHMÚ 2021)	- 66 -
OBRÁZEK 51: UKÁZKA MOŽNOSTÍ MONITORINGU NEPŘÍZNIVÝCH VLIVŮ POČASÍ V ČR (TRNKA ET AL. 2017)	- 67 -
OBRÁZEK 52: PODÍL NOVÉHO SNĚHU V ZIMĚ 2021/ 2022 (ČHMÚ 2022)	- 68 -
OBRÁZEK 53: PODÍL SRÁŽEK V ZIMĚ 2021/ 2022 (ZAHRADNÍČEK 2022)	- 69 -
OBRÁZEK 54: LINEÁRNÍ TREND RŮSTU PRŮMĚRNÝCH ROČNÍCH TEPLot OD ROKU 1980 DO 2032 (ČHMÚ 2023)	- 71 -
OBRÁZEK 55: VÝNOSY JEČMENE OD ROKU 1998 (ČSÚ 2023)	- 73 -
OBRÁZEK 56: VÝNOSY PŠENICE OD ROKU 1998 (ČSÚ 2023)	- 73 -
OBRÁZEK 57: VÝNOSY KUKUŘICE OD ROKU 1998 (ČSÚ 2023)	- 76 -
OBRÁZEK 58: PROFIL PÁSŮ PŘI PODZIMNÍM ZPRACOVÁNÍ PŮDY – VODA STÉKÁ DO ŽLÁBKŮ (KINCL 2018)	- 77 -
OBRÁZEK 59: KORELACE MEZI VÝNOSEM KUKUŘICE NA ZRNO S TEPLotOU, SRÁŽKAMI A DEFICITEM VODY VE VŠECH REGIONECH ČR PRO OBDOBÍ 2002-2019 (ČHMÚ 2023)	- 78 -
OBRÁZEK 60: VÝNOSY CHMELE OD ROKU 1998 (ČSÚ 2023)	- 79 -
OBRÁZEK 61: MĚSÍČNÍ SUMA TEPLot A MĚSÍČNÍ ÚHRN SRÁŽEK V ROCE 2022 (ČHMÚ 2023)	- 80 -
OBRÁZEK 62: KORELACE ROČNÍCH TEPLot A ÚHRNŮ SRÁŽEK V OBDOBÍ OD 1998 DO 2022 (ČHMÚ 2023)	- 81 -
OBRÁZEK 63: MNOŽSTVÍ ALFA KYSELIN V ZÁVISLOSTI NA TEPLotĚ (1980–2021) (MZE 2021)	- 82 -
OBRÁZEK 64: POROVNÁNÍ MNOŽSTVÍ SRÁŽEK NA ŽATECKU S ROČNÍM CELOREPUBLIKOVÝM ÚHRNEM	- 83 -
OBRÁZEK 65: SRÁŽKY A SUMY TEPLot ZA OBDOBÍ VEGETACE (IV.-VIII.) CHMELE V ŽATECKÉ CHMELAŘSKÉ OBLASTI V OBDOBÍ 2009–2021 (ÚKZÚZ 2023; NESVADBA ET AL. 2022)	- 83 -
OBRÁZEK 66: VÝNOSY RÉVY OD ROKU 1998 DO ROKU 2022 (ČSÚ 2023)	- 85 -
OBRÁZEK 67: POROVNÁNÍ ZVYŠUJÍCÍ SE CUKERNATOSTI SE ZVYŠUJÍCÍ SE TEPLotOU (ČHMÚ 2022; MZE 2022)	- 86 -
OBRÁZEK 68: VZÁJEMNÁ KORELACE TEPLot A CUKERNATOSTI RÉVY VINNÉ (MZE 2022)	- 86 -
OBRÁZEK 69: VÝNOSY MERUNĚK OD ROKU 2003	- 89 -
OBRÁZEK 70: KORELACE PRŮMĚRNÝCH MĚSÍČNÍCH TEPLot NA JAŘE (III., IV., V.) V POROVNÁNÍ S HRANICÍ 5 °C JAKO FAKTORU VYMRZNUTÍ KVĚTŮ/PLODŮ S VÝNOSY U MERUNĚK ZA ROK 2012-2022 (ČSÚ 2023)	- 90 -

Seznam tabulek

TABULKA 1: ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY A PARAMETRY MĚŘENÍ METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ NA KLIMATOLOGICKÝCH STANICÍCH ČHMÚ (INFOMET 2023)	- 7 -
TABULKA 2: RŮSTOVÁ FÁZE OBILNIN S URČENÍM MĚSÍCŮ JEDNOTLIVÝCH ETAP (EAGRI 2020)	- 33 -
TABULKA 3: VÝVOJ PLOCH, HEKTAROVÝCH VÝNOSŮ A SKLIZNÍ JEČMENE MEZI LETY 2015-2022 (ČSÚ 2023)	- 35 -
TABULKA 4: VÝVOJ PLOCH, HEKTAROVÝCH VÝNOSŮ A SKLIZNÍ PŠENICE MEZI LETY 2015-2022 (ČSÚ 2023)	- 37 -
TABULKA 5: RŮSTOVÉ FÁZE PŠENICE, JEJICH CITLIVOST NA MRAZY A PROJEVY POŠKOZENÍ MRAZEM (PRÁŠIL ET AL. 2021)	- 38 -
TABULKA 6: DEFINITIVNÍ VÝVOJ PLOCH, HEKTAROVÝCH VÝNOSŮ A SKLIZNÍ V ČR PRO KUKUŘICI NA ZRNO MEZI LETY 2014-2022 (ČSÚ 2023)-	41
-	
TABULKA 7: VÝVOJ PLOCH, HEKTAROVÝCH VÝNOSŮ A SKLIZNÍ V ČR PRO CHMEL MEZI LETY 2017-2022 (ČSÚ 2023)	- 46 -
TABULKA 8: VÝVOJ PLOCH, HEKTAROVÝCH VÝNOSŮ A SKLIZNÍ V ČR PRO RÉVU VINNOU MEZI LETY 2017-2022 (ČSÚ, 2023)	- 49 -
TABULKA 9: VÝVOJ PLOCH, SKLIZNÍ A POČTU STROMŮ MERUNĚK V ČR MEZI LETY 2014-2022 (ČSÚ 2023)	- 55 -
TABULKA 10: POROVNÁNÍ TROPICKÝCH A MRAZOVÝCH DNÍ MEZI LETY 2014 AŽ 2021 (FAKTAOKLIMATU 2023)	- 81 -

1 Úvod

Změny klimatického systému planety Země probíhají po staletí, již od dob vzniku planety. Zemské klima nebylo v posledních 400 tisících letech nikdy příliš stabilní. Teplá období se vždy střídala s těmi ledovými přibližně po 100 tisících letech. V posledních desetiletí se ale ukazuje, že v současné době se stejné změny dějí častěji a rychleji, než tomu v minulosti bývalo. S největší pravděpodobností se jedná o zesilování přirozeného skleníkového efektu atmosféry a nadměrného zvyšování antropogenních emisí skleníkových plynů. Nejvíce tomu v důsledku lidské činnosti přispívá CO₂. Mnohé ze skleníkových plynů jsou v přírodě běžné, v důsledku lidské činnosti se ale koncentrace některých z nich v atmosféře zvýšila a tím došlo i ke zvýšení teploty na povrchu Země. Jde převážně o činnost spojené s nárůstem emisí skleníkových plynů na základě vyšší celosvětové potřeby energie z fosilních zdrojů, která je v přímé úměře s vyšším počtem obyvatel a jejich navyšující se celkovou životní spotřebou, dále s odlesňováním (ztráta částečného pohlcování CO₂), intenzivnějším chovem hospodářských zvířat (produkce metanu), přílišným využíváním dusíkatých hnojiv (produkce oxidu dusného) a fluorovaných plynů, které mají dokonce 23 000krát větší vliv na oteplování než samotné CO₂. Změnou klimatu je ohroženo fungování všech krajinných složek včetně lidské společnosti.

Celková průměrná globální teplota za posledních 150 let se zvýšila o 1,1 °C. Globální oteplování roste tempem přibližně 0,2 °C za desetiletí. Rok 2018 byl dokonce až rekordně teplý, nejteplejší v historii s ročním průměrem 9,54 °C. Hned po něm následoval rok 2019, který byl jen o 0,04 °C chladnější. Celkově roky v druhém tisíciletí patří mezi ty nejteplejších v Evropě. Roční teplota v Evropě se od roku 1910 zvyšuje 0,14 °C za deset let; od roku 1981 je to ale o více než trojnásobek, a to 0,46 °C. Jak uvádí Mezivládní panel pro změny klimatu IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, dále jen „IPCC“) člověk zapříčinil, že průměrná teplota Země je o 1,5 °C vyšší jak před rokem 1750 (před průmyslovou revolucí). Globální oteplování se projevuje jako dlouhodobý nárůst průměrné teploty povrchu Země. Tento nárůst teploty není lineární a jeho růst není konstantní. Nicméně, pokud se podíváme na dlouhodobé trendy, můžeme identifikovat stoletý lineární trend růstu globální teploty. Podle zprávy IPCC z roku 2021, průměrná teplota povrchu Země v období 1850-1900 byla o přibližně 1,1 stupně Celsia nižší než v období 2011-2020. Severní polokoule se otepluje rychleji než jižní. Vzhledem k faktu, že teplota vzduchu nad pevninskými oblastmi stoupá rychleji než nad oceány, je od poloviny 19. století růst teploty oceánů přibližně poloviční. Pevninské oblasti mají menší schopnost absorbovat teplo a udržet si jej, což způsobuje, že se nad nimi teplota rychleji zvyšuje. V důsledku toho jsou extrémní teploty, jako třeba vlny horka/ veder, častější a intenzivnější nad pevninou. Kontinentální efekt také způsobuje rozdílné klimatické podmínky nad různými místy pevniny, tzv. regionalizace (faktaoklimatu.cz 2022).

Mnoho výzkumů je dnes zaměřeno na studování dopadů na zemědělství při možných změnách klimatu a zároveň s tím na možnosti budoucí adaptace tohoto odvětví. To nesouvisí jenom se zajištěním potravin a potravinovou bezpečností (do roku 2050 bude potřeba zdvojnásobit produkci potravin na základě zvyšující se populace), ale také v rostoucí míře i se zajištěním ekosystémových služeb, které zemědělství společnosti poskytuje. Změny klimatu mají dopad na produkci plodin, krmiv a vláken, ekologickou stabilitu krajiny, genetickou rozmanitost, půdní úrodnost či erozní riziko, kvalitu vody, narušení biodiverzity, ubývající množství hmyzu, čímž se nepřímo posilují i nežádoucí účinky rostlinných chorob, škůdců a plevelů nebo na závěr rekreační potenciál daných území. Všechny tyto

výše zmíněné stresory mají přímý vliv na růst a vývoj rostlin, následně na jejich produkci, výnos i sklizeň (Opatrný et al. 2019).

V nedávné historii můžeme pozorovat stále častější výkyvy extrémních teplot a srážek. Nebo jen nerovnoměrné a nepředvídatelné oteplování jednotlivých měsíců v roce. V důsledku navyšování teplot dochází k rychlému a předčasnému tání sněhové pokrývky, které může vyvolat záplavy nebo naopak jev opačný, kdy vysoké teploty vyvolají úplné sucho s velmi nestabilními úhrny srážek. Nejen, že klimatické změny a zvyšující se teplota zesilují sucho v létě, znatelné jsou změny i v počtech ledových dní přes chladnější část roku. Ty se dle Zahradníček et al. (2022) mezi dvěma 30letými obdobími let 1961–2020 snížily o 18,5 % v polohách nižších než 300 m n.m. a o 10 % nad 900 m n.m. Spolu s tím souvisí snížení sněhových srážek, hloubky a trvání sněhové pokrývky, speciálně v nižších nadmořských výškách a převaha kapalných srážek nad těmi pevnými (Zahradníček et al. 2016).

Taktéž zadržování vody v půdě je velmi závažný problém. Suchých a horkých dní přibývá, mění se struktura půdy a půda až eroduje. V souvislosti s vysokými teplotami, dochází k velkému výparu vody do ovzduší a v půdě tak vody zůstává jen velmi málo. Mnohdy s tímto bývá spojováno i zasolení půd. Vzdávající salinita je dána systémem umělého zavlažování, týkající se hlavně semiaridních a aridních oblastí.

Jako možné pozitivní dopady klimatických změn můžeme vnímat v přesunu plodin i do oblastí, které dříve být obdělávané nemohly.

2 Cíle práce a vědecká hypotéza

Cílem práce bylo zpracovat a popsat fenomén klimatických změn a extrémních meteorologických jevů pro oblast zemědělství České republiky. Následně je charakterizovat, analyzovat a zasadit do kontextu české produkce s ukázkou na konkrétních plodinách. Cílem bylo analyzovat především dopady nízkých teplot, sucha, horkých vln a extrémních srážek na vybrané plodiny, jako jsou obilniny, kukuřice, chmel, vinná réva a meruňky. Posléze zhodnotit dopady extrémního počasí na výnosech a kvalitě vybraných zemědělských plodin. Na závěr shrnout a formulovat doporučení vhodná pro praxi, možnosti adaptace a případný návrh jednotlivých adaptačních opatření.

Hypotéza: Jsou víceleté plodiny více zranitelné vůči změně klimatu?

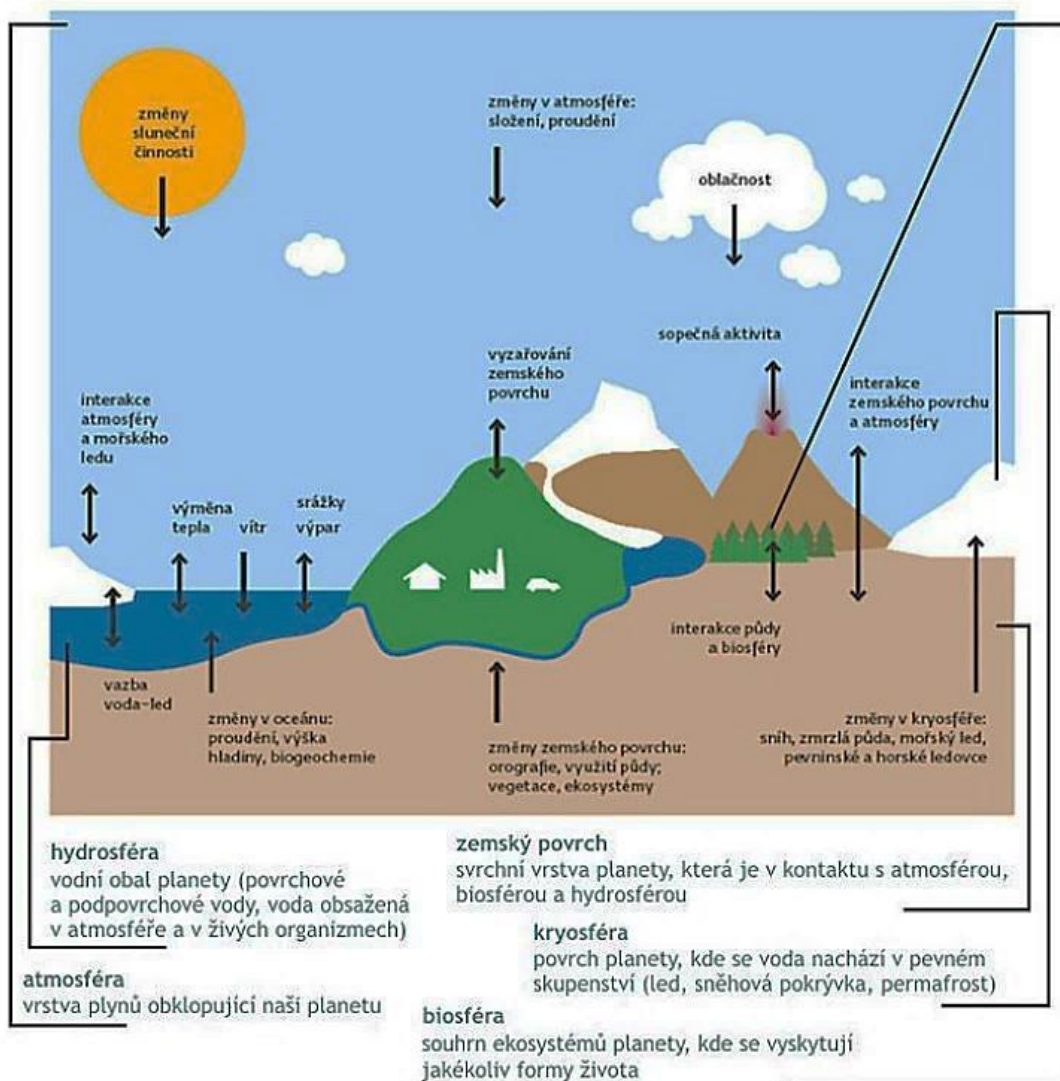
3 Literární rešerše

3.1 Teoretická část

Důležitou složku přírodního prostředí tvoří počasí. Jedná se o jeho nejdynamičtější součást. Je dáno stavem všech atmosférických jevů pozorovaných na určitém místě a v určitém krátkém časovém úseku nebo okamžiku. Počasí se mění z hodiny na hodinu a je definováno jako okamžitý stav atmosféry nad daným místem. Mění se ze dne na den, sezónu od sezóny, rok od roku. Během několika desítek let tak vytvoří charakteristický režim pro konkrétní území. Podnebí jakožto dlouhodobý proces je pro veškeré složky přírody a jejich procesy, ať už se jedná o složky živé či neživé, na daném místě a v daný čas značně limitujícím faktorem oproti počasí. Přímou tedy ovlivňuje jak ekosystémy, tak jejich ekotopy. Klima (neboli podnebí) je "průměrné počasí" za několik desetiletí. Tedy naopak, dlouhodobý režim počasí charakteristický bilancováním energie, atmosférickou a oceánskou cirkulací, vlastnostmi zemského povrchu a činností člověka. Na vytváření zemského klimatu se tedy nepodílí pouze atmosféra, ale i procesy v ostatních složkách klimatického systému **viz Obr. 1**. K popisu pozorovatelných klimatických změn se používají parametry jako např. průměrná teplota vzduchu, průměrné srážky, délka a intenzita slunečního svitu, rychlost větru, vlhkost vzduchu a další klimatické veličiny za období alespoň 30 let, přičemž je potřeba zahrnout i veličiny vyjadřující jeho kolísání (např. meziroční proměnlivost, extrémní hodnoty apod.).

Extrémní vlivy počasí zahrnují extrémní horka, chlad, sucha, povodně, hurikány, tornáda, bouřky a další meteorologické události. Jedná se jak o abiotické situace (sucho, povodně, kratší doba trvání sněhové pokrývky, jarní mrazíky, posun bouřkového období, výskyt horkých vln apod.), tak i o živé neboli biotické faktory (šíření invazních druhů rostlin a živočichů, kalamitní přemnožení škůdců podpořené synergickým působením obou skupin faktorů, posun fenologických fází rostlin i živočichů apod.). Klimatické změny jsou spojovány převážně s nárůstem globálních teplot, jakožto změn teplotních extrémů (Rahmstorf & Coumou 2011). Na druhé straně je nutné zdůraznit, že ne každá extrémní bouře či výskyt invazního druhu je důsledkem změny klimatu. A také je nutno dodat, že ani změny extrémních teplot zachycených v ČR nemusí ihned souviset s globálním oteplováním. Mohou mít řadu důsledků pouze na základě různých nadmořských výšek typických pro danou oblast ČR.

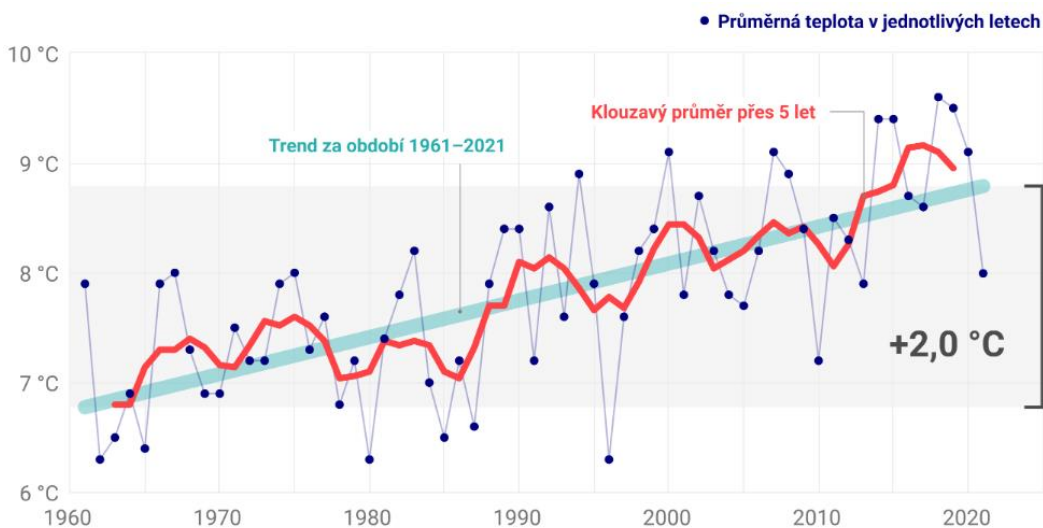
Větší četnost extrémního počasí a poměrně již pravidelné výkyvy ve stálosti počasí, které s sebou přinášejí postupující změny klimatu, tak výrazně komplikují pěstování hlavních zemědělských plodin. Extrémními jevy, které mohou na území ČR vzniknout jsou: vysoké teploty a nebezpečí požárů, silný a nečekaný pokles/ vzrůst teplot, silný mráz, silné sněžení (sněhové jazyky, závěje) nebo nedostatečná pokrývka sněhem, silné bouřky s krupobitím, silný přívalový déšť, velmi silný vítr (orkány, hurikány) nebo povodně.



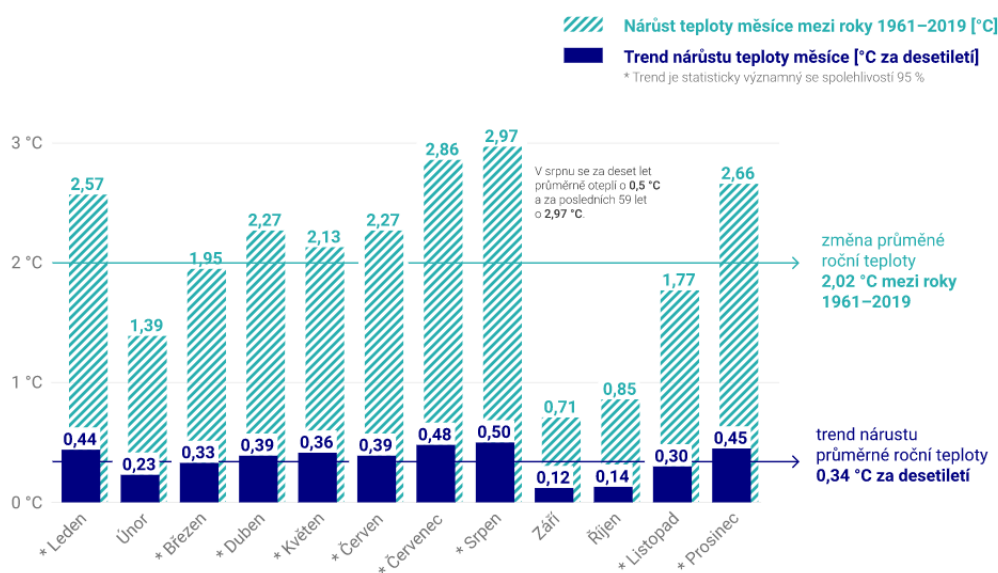
Obrázek 1: Složky klimatického systému (ČHMÚ 2022)

3.1.1 Základní údaje o počasí v České republice

Ačkoli je globální úroveň oteplování o $+1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, v Česku se jedná téměř o dvojnásobek, tedy o $+2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Každý stupeň, o který se ohřeje planeta, znamená o dva stupně v průměru vyšší teploty v Česku. U průměrné roční teploty vzduchu na území ČR pozorujeme za období 1961–2021 trend zvyšování o $0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí viz Obr. 2. Výraznější nárůst je pozorovaný v měsících prosinec, leden, červenec a srpen a to přibližně $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. Mezi roky 1961 až 2021 se tyto měsíce oteplily o více než $2,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ viz Obr. 3. Vyšší teploty v letních měsících se projevují jako vlny veder a vyšší počet tropických dní (tedy dní, kdy teplota přesáhne $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) a tropických nocí (tedy nocí, kdy teplota neklesne pod $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Zároveň vyšší teploty v letních měsících způsobují zvýšený odpar vody a tím zesilují suchu. Vyšší teploty v zimních měsících zapříčiňují nižší sněhovou pokrývku (sníh rychleji taje nebo místo sněžení prší), což má i dopady na doplňování podzemních vod (faktaoklimatu 2022).



Obrázek 2: Průměrná roční teplota v ČR (faktaoklimatu 2022)



Obrázek 3: Trend růstu průměrných měsíčních teplot v ČR (faktaoklimatu 2022)

Česká republika (dále jen „ČR“) se nachází v mírném podnebném pásu, pro který je typické střídání čtyř ročních období. Díky poloze v západní části evropské pevniny u nás převažuje vliv oceánu a západní směr proudění vzduchu. Podnebí České republiky je mírně kontinentální s vlivem oceánského klimatu. Zimy jsou chladné s průměrnými teplotami kolem -2 °C až 0 °C . Léta jsou mírně teplá s průměrnými teplotami kolem 20 °C . Průměrné roční srážky se pohybují kolem 500-700 mm, přičemž nejvíce srážek připadá na léto a nejméně na zimu. Průměrná měsíční teplota klesá od jihu k severu (ve všech měsících s výjimkou ledna a prosince) a s rostoucí nadmořskou výškou. Informace o aktuálním stavu počasí na území ČR jsou sbírány a vyhodnocovány Českým hydrometeorologickým ústavem (dále jen „ČHMÚ“), který má síť meteorologických stanic pokryté celé území státu. Sídlí v Praze s pobočkami v krajských městech. Meteorologická měření a pozorování se konají v určených termínech mající denní chod měření a pozorování v 7, 14 a 21 hodin středního místního času. Základní měřené charakteristiky jsou: intenzita slunečního záření, teplota, vlhkost a tlak vzduchu, směr a rychlost větru,

trvání slunečního svitu, výpar, množství srážek, výška sněhové pokrývky a teplota půdy viz **Tab. 1.** (Infomet 2022).

Tabulka 1: Základní charakteristiky a parametry měření meteorologických prvků na klimatologických stanicích ČHMÚ (Infomet 2023)

Meteorologický prvek	Čas měření	Poznámka
teplota vzduchu	07:00, 14:00, 21:00	na vybraných stanicích po 15 min.
maximální teplota vzduchu	21:00	
minimální teplota vzduchu	21:00	
přízemní minimální teplota	07:00	
teplota půdy	07:00, 14:00, 21:00	na vybraných stanicích po 15 min.
vlhkost vzduchu	07:00, 14:00, 21:00	na vybraných stanicích po 1 hod. či 15 min.
rychlost a směr větru	07:00, 14:00, 21:00	na vybraných stanicích po 15 min.
sluneční svit	00:00	na vybraných stanicích po 15 min.
srážky	07:00	na vybraných stanicích po 15 min.
sněhová pokrývky	07:00	celková výška, výška nově napadlého sněhu apod.
atmosférické jevy	průběžně	vypadávající srážky, bouřka, kroupy, mlha, námraza apod.

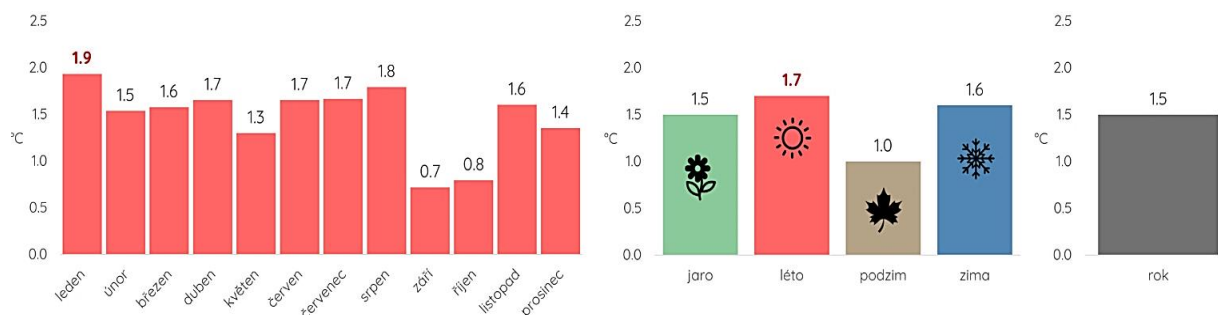
Vzhledem k rychle probíhajícím změnám klimatu, bylo vydáno doporučením Světové meteorologické organizace (WMO, z angl. World Meteorological Organization) provádět klimatologické hodnocení aktuálního období k nejbližše skončenému třicetiletí. ČHMÚ tak provádí nejnovější srovnání klimatologických charakteristik roku 2021/ 2022 (úhrny srážek, průměrné teploty vzduchu a další) vůči novému normálovému období 1991–2020. Období 60 let před rokem 2020 (do roku 1961) je porovnáváno s hodnotami normálů období 1981–2010 (ČHMÚ 2022).

Průměrná roční teplota na území ČR se pohybuje kolem 8 až 10 °C, v letech 1961-1990 se pohybovala kolem 7,7 °C, v letech 1991-2020 už byla průměrná teplota kolem 8,7 °C. Nejteplejší oblastí je jižní Morava (okolí Břeclavi) a díky tepelnému ostrovu města také Praha. Nejchladnější jsou vrcholky hor, kde jsou průměrné roční teploty těsně kolem bodu mrazu (Sněžka, Praděd) (ČHMÚ 2022).

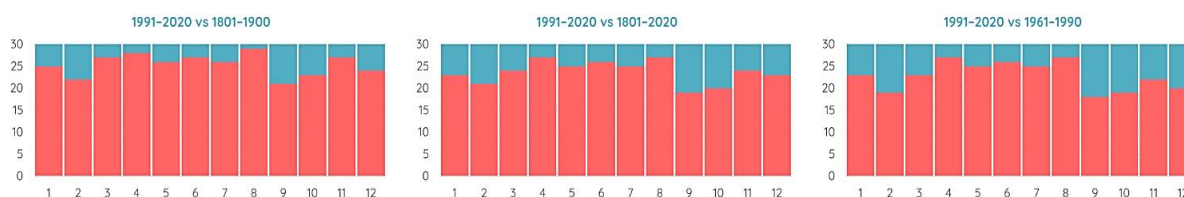
V ČR jsou díky značně členitému reliéfu výrazné rozdíly v ročních srážkových úhrnech. Průměrný úhrn srážek na území ČR je 686 mm za rok. Mezi nejsušší oblasti patří místa ve srážkovém stínu Krušných hor: Žatecko a Kladensko, kde roční úhrn srážek nepřevyšuje 450 mm. Nízké srážkové úhrny jsou také na jižní Moravě zejména v Dyjskosvrateckém a Dolnomoravském úvalu (méně než 500 mm/rok). Naopak vysoké úhrny jsou v Jizerských horách (více než 1700 mm/rok), na Šumavě, Krkonoších, Hrubém Jeseníku a Moravskoslezských Beskydech (více než 1500 mm/rok) (ČHMÚ 2022).

Významnou roli sehrávají s ohledem na zemědělské plodiny extrémní teploty vzduchu, zvláště nečekané teploty minimální nebo dlouhodobě trávající teploty nad 30°C. Roční chod průměrné teploty vzduchu se vyznačuje jednoduchou vlnou s maximem v červenci a s minimem v lednu (Rožnovský 2011) viz **Obr. 4.** Nejvyšší naměřené maximum denních teplot pro ČR bylo naměřeno v Dobřichovicích (Praha – západ) 20. srpna 2012 s hodnotou 40,4 °C. Nejnižší naměřené minimum pak dne 11. února 1929 v Litvínovicích u Českých Budějovic s hodnotou teploty vzduchu -42,2 °C (ČHMÚ 2022). Poslední rekord a důkaz oteplování byl ve Řži dne 19. června 2022, kdy byl překonán nejvyšší teplotní

rekord v ČR. Během vlny veder na přelomu června a července byla překonána do té doby nejvyšší naměřená červnová teplota pro ČR, a to 39 °C (faktaoklimatu 2022).



Počet let v období 1991–2020, kdy byla daný měsíc průměrná teplota vyšší (červeně) či nižší (modře) než průměr pro daný měsíc pro různá období.



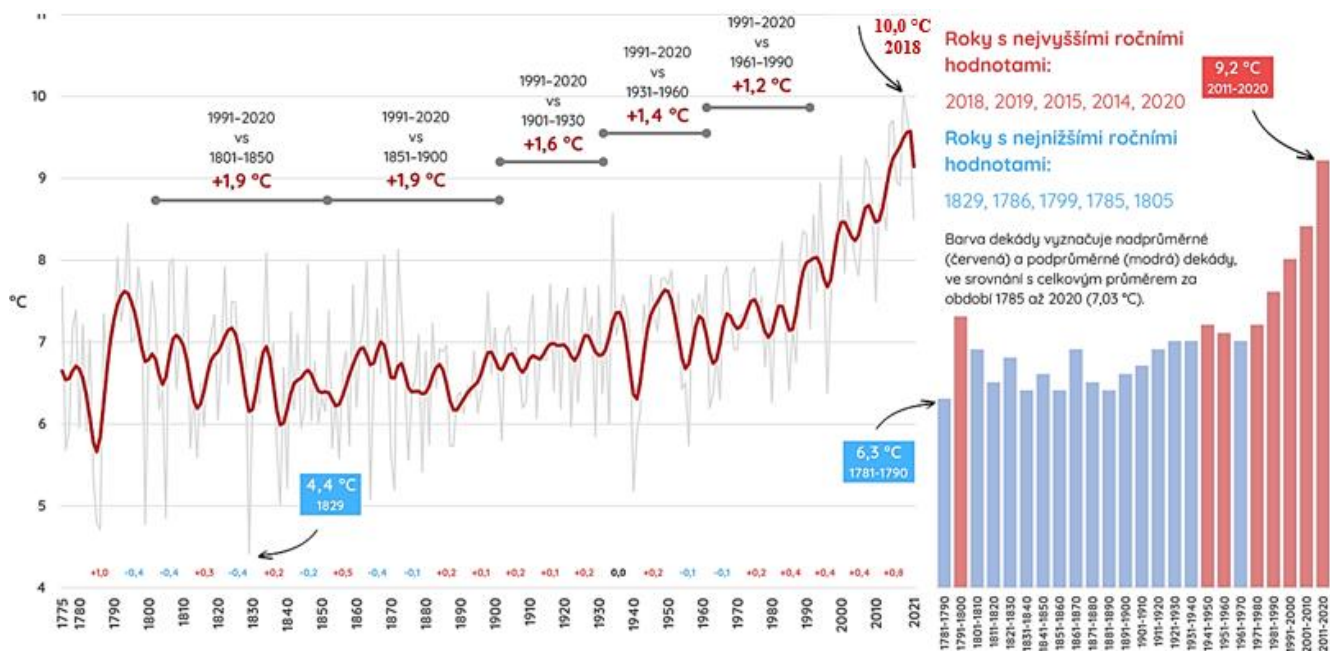
Obrázek 4: Srovnání průměrné roční teploty vzduchu v období 1991–2020 pro jednotlivé měsíce, roční období a roky vůči celkovému 220letému průměru 1801–2020 (klimatickazmena 2022)

Bylo řečeno, že v ČR je červenec nejteplejším měsícem. Na obrázku ale můžeme vidět, jak se nejteplejší měsíc v průběhu letního období začal pohybovat v rozmezí července a srpna. V posledních letech se tak trend nejteplejšího měsíce postupně posouvá z července spíše do srpna. Za posledních 50 let se průměrná teplota v červenci v České republice zvýšila o více než 2,86 °C a průměrná teplota v srpnu stoupla o více než 2,97 °C. V současnosti se očekává, že se trend zvyšování průměrné teploty bude v budoucnu nadále pokračovat, což by mohlo vést ke stále většímu posunu nejteplejšího měsíce směrem k srpnu (ekolist 2022).

3.1.2 Analýza extrémního počasí zaměřená na oblast zemědělství

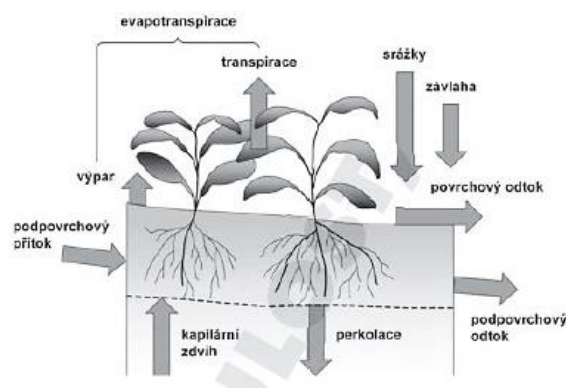
Počasí a jeho průběh je velmi důležitou složkou krajinných procesů, významně ovlivňuje jak živou přírodu a přirozené ekosystémy, tak ekotopy přírody neživé. Ovlivňuje tak i zemědělské plodiny. V zemědělství hraje počasí nezastupitelnou výnosotvornou roli. Výnosy zemědělských plodin ovlivňuje hlavně množství a výskyt srážek a průběh teploty vzduchu. V posledních desetiletích patří k běžným charakteristikám počasí zvýšený výskyt teplých období, ležících nad normálem ročních teplot a rekordně vysokých teplot vzduchu v povrchových vrstvách atmosféry viz Obr. 6., kde jsou vidět ročníky s nadprůměrnými teplotami v průběhu staletí.

Pro studium vzájemného působení vlivů počasí a klimatu na zemědělství existuje obor aplikované meteorologie – agrometeorologie (syn. meteorologie zemědělská). Poznatků z agrometeorologie se využívá v rostlinné a živočišné výrobě, zejména ve sféře řízení a rozhodování, např. při určování agrotechnických termínů, závlahových dávek nebo ochraně plodin před nepříznivými meteorologickými jevy (klimatickazmena 2022).



Obrázek 5: Hodnoty průměrné roční teploty vzduchu v České republice za období 1775 až 2020 (klimatickazmena 2022)

Pro zemědělskou plodinu a její potřeby pro správný růst má nezastupitelné postavení půda a dopadající srážky. Půdní podmínky ovlivňují, jaké množství vody zůstane nebo kolik z objemu srážek oteče. Velký povrchový odtok neboli část srážek, odtékajících po povrchu při intenzivnějších deštích, vyvolává erozi. V dlouhodobém procesu se tento odtok podílí na degradaci půd. Velkou roli proto hrají půdní hydrolimity nebo výška hladiny podzemních vod dané oblasti. Půdní vláha jakožto obsah vody v půdě, není tedy jen výsledkem srážek jakožto vody dopadající na půdu. Jedná se o evaporaci a evapotranspiraci viz Obr. 7. Pokud jsou vyšší teploty vzduchu, zákonitě je vyšší výdej vody, tedy evaporace a evapotranspirace, a tak v půdě zůstává, jak po odtoku ze srážek, tak po následném vypařování, stále méně vody pro rostliny a jejich správný růst (Brázdil et al. 2015).



Obrázek 6: Vodní bilance půdní vody (Brázdil et al. 2015)

Výpar je pro rostlinu velmi důležitý, dochází díky tomu nejen k výměně živin, ale také k vlastnímu ochlazení. Výpar je produktivní (transpirace) nebo neproduktivní (evaporace + intercepce). Evapotranspirace v sobě zahrnuje evaporaci, transpiraci a intercepci. Sama evaporace je výpar vody z půdy, deště, ledu či sněhu. Transpirace znamená výpar z rostlin a to pomocí průduchů nebo kutikulou

(z 5-10 %). Intercepce výpar přímo z povrchu rostlin, který se skládá z několika složek. Ty zahrnují vodu uloženou na povrchu rostlin (intercept) a vodu, která je vypařována z pórů na povrchu listů (transpirace) plus vodu, která je vypařována z povrchu půdy tzv. LAI. Pomocí transpiračního koeficientu (g/g) vypočteme množství prodýchané vody (g), potřebné na tvorbu 1g sušiny, který má hodnotu pro polní plodiny 200 – 700, zeleninu 800 – 1200, vinnou révu 240 – 350 a trávy 600 – 900. (ekolist 2022).

3.1.2.1 Nízké teploty

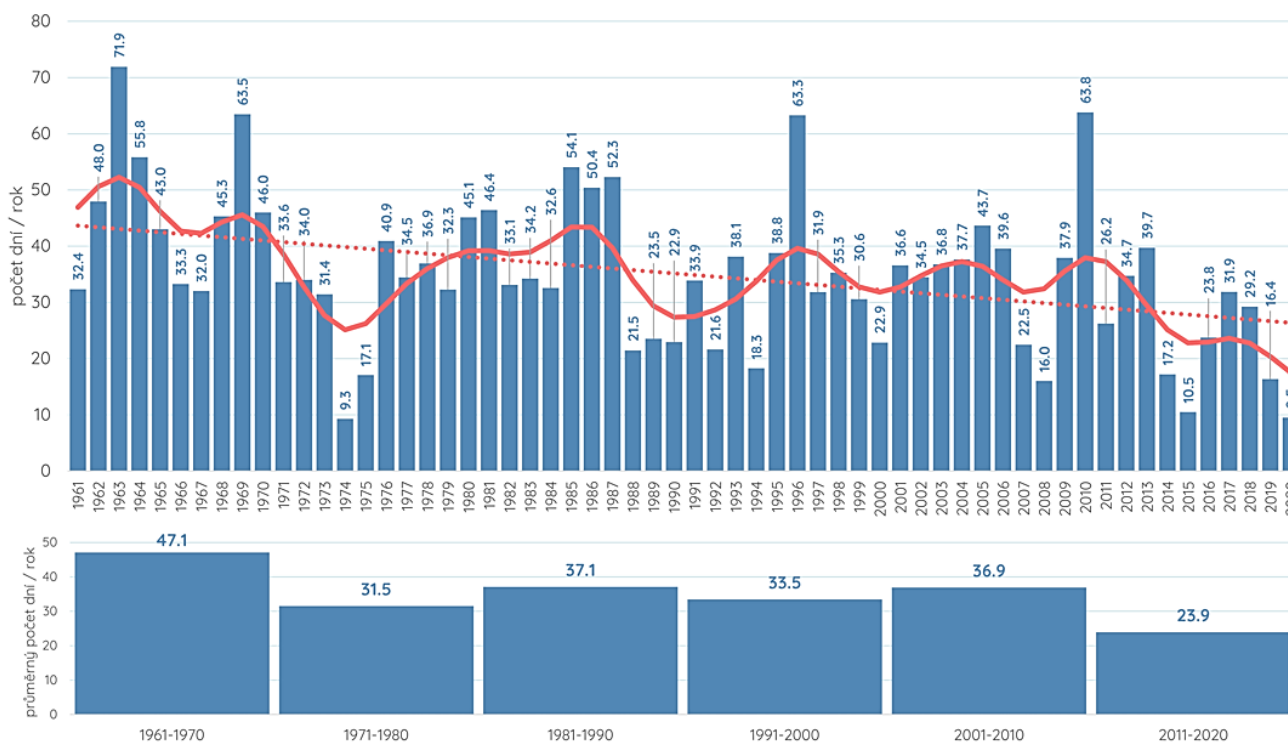
Rostliny mírného pásma jsou na nízké teploty adaptovány, ale náhlé a nečekané poklesy teplot bývají škodlivé i pro ně. Nejcitlivější jsou generativní orgány rostliny. Nízká teplota zpomaluje intenzitu dýchání. Od jistých hodnot dochází k tvorbě ledu a případnému mechanickému poškození buněk. Tvorba ledu vede ale také k dehydrataci buněk a mezibuněčných prostor. Příčinou úhynu rostliny v tomto případě může být omezený nebo přerušovaný příjem vody, kdy přitom transpirace přerušena není. Jde například o stav, kdy je zmrzlá půda a voda z ní není rostlině nikterak přístupná. Citlivost rostlin k mrazu je různá. Nejcitlivější rostliny mohou být poškozovány už při teplotách -2 až -5 °C. (Hrudová 2011).

Nejtypičtějším příkladem jsou kritické jarní mrazy v době vývoje květů ovocných stromů. Působení nízkých teplot, ačkoli se nemusí jednat hned o mrazivé dny, může mít negativní dopady i při teplotách do 5 °C. Fotosyntéza se zpomaluje, příjem vody a živin a růst se pozastavuje. Při poškození chladem nedochází k tvorbě ledu v buňkách a úhynu rostlin, ale k odumírání nadzemních orgánů a tím pádem snižování dobré produkce. Symptomy chladového poškození na rostlině se pak liší podle zasaženého místa rostliny (Hrudová 2011).

Dle portálu AGRObase (2021) se do budoucna v zimním období očekává pokles četnosti výskytu ledových dní s maximální teplotou vzduchu $\leq -0,1$ °C a dní arktických s maximální teplotou vzduchu ≤ -10 °C (Brázdil et al. 2015). V rámci hodnocení v posledních 60 letech je patrný trend poklesu počtu ledových dní v roce. Konkrétně -4,7 dne za desetiletí viz **Obr. 8**.

Zapříčiňuje to poté teplé zimy s nedostatečně dlouhou pokrývkou sněhem. Série teplých zim pak mnoha zemědělcům přináší škody v podobě mrazových škod, kdy silné poškození polních plodin mrazem zapříčiňuje následné zaorání po špatném přezimování. Odhadovaná ztráta (náklady na osivo, zaorávky a neuskutečněné tržby) může pak činit ztráty dosahující miliónů korun (Prášil et al. 2004).

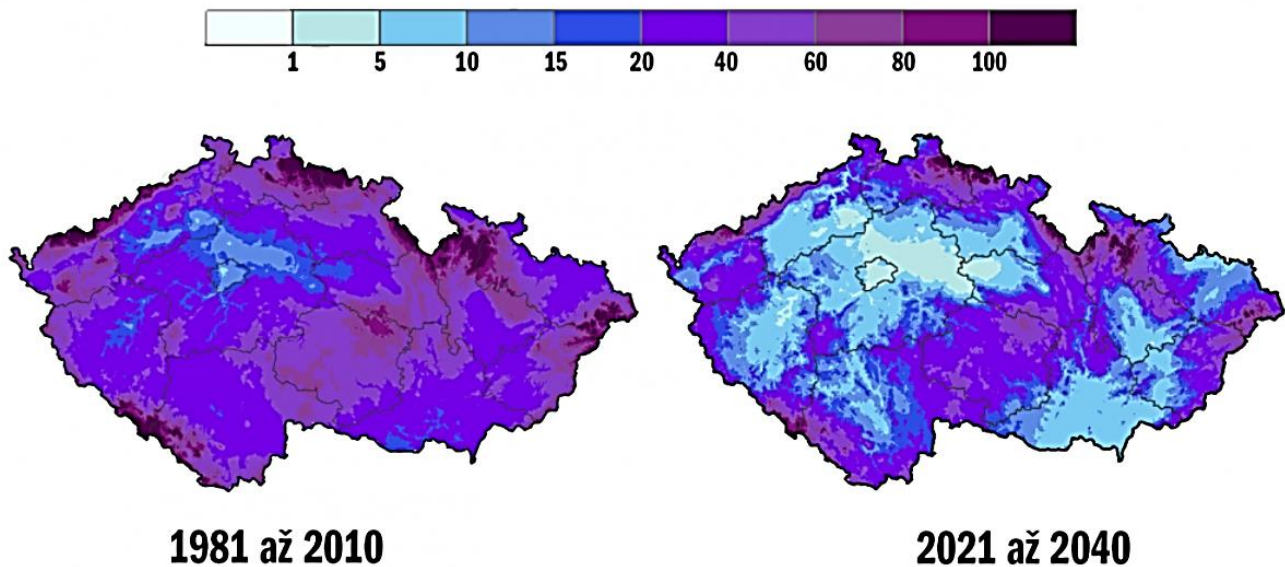
S teplotami v zimě souvisí také přezimování škůdců, pro které dlouhá a mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot znamená zdárný vývoj. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 °C proto vedou k vysoké úmrtnosti těchto škůdců. Na půdní fytopatogenní organismy tato změna ale významnější vliv nemá. Výskyt mírných zim povede spíše k rozšíření přezimujících druhů plevelů, což může ovlivnit kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich růst v jarním období (Brázdil et al. 2015).



Obrázek 7: Snižující se počet ledových dní v zimách od roku 1961 do 2020 (klimatickazmena 2022)

3.1.2.2 Sněhová pokrývka

Při hodnocení vlivu změny klimatu na rostlinnou produkci je poněkud podceňovanou a opomíjenou veličinou sněhová pokrývka a její parametry. Sněhovou pokrývkou se rozumí vrstva napadlého sněhu o výšce alespoň půl centimetru. První dny se sněhovou pokrývkou se objevují v závislosti na nadmořské výšce v nížinách koncem listopadu a počátkem prosince, v horských oblastech již v říjnu někdy i koncem září. Délka trvání sněhové pokrývky se pohybuje od 40 dní za rok v nížinách po více než 150 v horských oblastech (ČHMÚ 2022). Tuhost zimy je většinou hodnocena zejména na základě teplotních charakteristik jako je teplota vzduchu ve 2 m nad zemí, přízemní teplotní minimum nebo teplota půdy. Sněhová pokrývka přitom působí jako přírodní izolátor a podle jejích parametrů může být teplota pod sněhem vyšší než teplota okolní, a to klidně i o desítky stupňů Celsia (Brázdil et al. 2008). Kvůli zvyšující se teplotě vzduchu v zimních obdobích zaznamenáváme slabou sněhovou pokrývkou a sníh měnící se na déšť. Rozsah sněhové pokrývky se od 60. let 20. století snížil o přibližně 10 %. Zkracuje se i průměrná doba, po kterou zamrzají jezera a řeky. Za posledních 100 až 150 let se tato doba zkrátila, ve středních a vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule, o zhruba dva týdny (ČHMÚ 2022). Vlivem vyšších teplot není pak možné sněhovou pokrývkou obnovit ve formě sněžení. Voda na zem již nedopadne ve formě sněhu, ale přeměněná v déšť. To způsobuje nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce, popřípadě i její tání. Celkově se pak snižuje množství vody pro rostliny, které se ze sněhové pokrývky může uvolnit při tání na začátku jejich vegetačního období (Brázdil et al. 2008).



Obrázek 8: Průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou >10 cm (klimatická změna 2022)

Na **Obr. 9** je vidět předpověď pokrytí sněhovou pokrývkou až do roku 2040, kdy nás s největší pravděpodobností čeká zima téměř bez sněhu a s kratší dobou trvání (nebo s menší výškou sněhové pokrývky).

Mrazuvzdornost znamená schopnost přežít tvorbu ledu v buňkách. Vymrznutí ozimů či jejich poškození mrazem v zimním období je tedy spojeno s tvorbou ledu v rostlinných pletivech. Mrazuvzdornost se na podzim otužováním zvyšuje, během ledna a února se potom postupně snižuje, což funguje více u méně odolných odrůd. Předpověď sněhových pokrývek v určitém regionu pak umožňuje použití více či méně mrazuvzdorných odrůd ozimých plodin v chladnějších oblastech a lepší výsledek úrody (Středa et al. 2011).

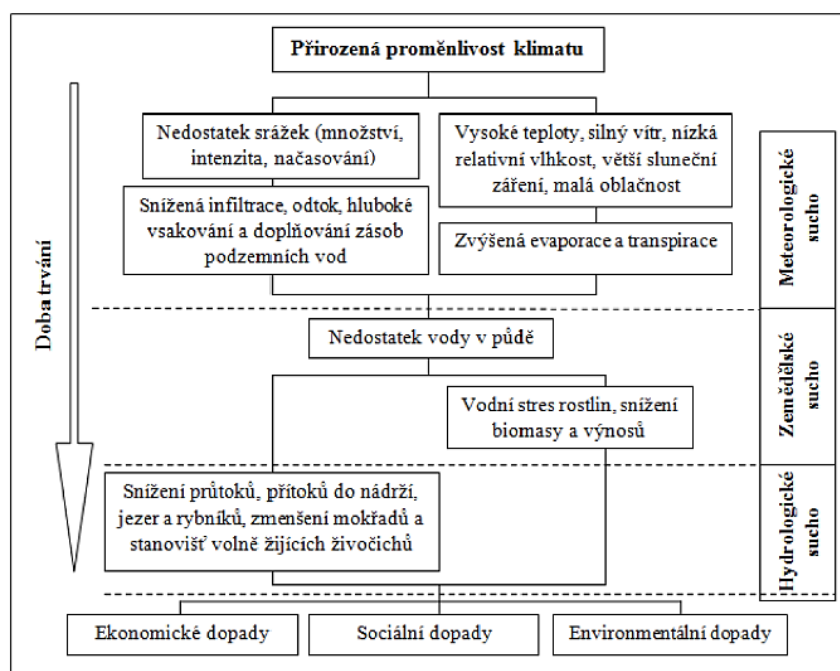
3.1.2.3 Sucho

Suchem se rozumí relativně krátkodobá záporná odchylka vodní bilance od normálu, kdy výdej vody v krajině převažuje nad jejím příjmem. V podmínkách středoevropského klimatu je primární příčinou vzniku sucha srážkový deficit v určitém časovém intervalu. Srážkový deficit může být prohlouben spolupůsobením ostatních meteorologických prvků, zejména vyšší teplotou vzduchu, intenzivnějším prouděním vzduchu, eventuálně nízkou relativní vlhkostí vzduchu (Brázdil et al. 1995).

Sucho je přirozeným rysem proměnlivosti klimatu na celém světě. Je to fenomén, který souvisí s trvalým nedostatkem srážek a v některých případech nadměrné evapotranspirace **viz Obr. 10**. Je obtížné jej přesně definovat. Obecná objektivní definice sucha neexistuje, avšak v meteorologii a klimatologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v atmosféře, půdě či rostlinách (Potop et al. 2012). Jedná se o jev, který přichází velmi plíživě a velmi se liší region od regionu. Oblasti tropických deštných lesů nebo oblasti pouští nemůžou být srovnávány například s podmínkami v České republice. Podle Gibbse (1975) se jedná o stav, kdy množství vody, které je k dispozici, nepostačuje pokrýt nároky na její využití. Pokaždé se ale jedná o nedostatek srážek v dané oblasti v rozmezí určitého času, který je pro každý region odlišný. Sucho je většinou jevem nahodilým, který se vyskytuje z velké části nepravidelně v období podnormálních srážek s trváním od několika dní až po

několik měsíců. Vzhledem k tomu, že přírodní ekosystémy a lidské aktivity v České republice jsou obecně přizpůsobeny rovnoměrně rozloženým srážkám jsou regiony suchem velmi zranitelné (Tolasz et al. 2007). Pro Českou republiku to znamená období v rámci týdnů až měsíců bez srážek. Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar (evapotranspirace) a jiné prohlubování nedostatku vody (ČHMÚ 2022). Sucho v České republice působí problémy zejména v zemědělství, lesnictví a vodním hospodářství. Dle Hlavinka et al. (2009) sucha, která trvají od dubna do června mají výrazný dopad na téměř všechny zemědělské plodiny, jen u cukrové řepy a kukuřice jsou hlavním problémem sucha hlavně na konci léta. Obvykle dělíme sucho do čtyř typů, a to podle dominujících projevů:

- 1) *Meteorologické, klimatické sucho*, kdy se nám ukazatel objemu srážek, během určitého časového období, dostává do záporných hodnot od normálu, a srážek je za toto období méně, než je dlouhodobý průměr. Pod pojmem srážkový deficit v tomto případě rozumíme záporný rozdíl mezi množstvím aktuálně spadlých srážek a jejich dlouhodobým průměrem (normálem) za určité časové období,
- 2) *Zemědělské, půdní* neboli také *agronomické sucho*, kdy pozorujeme nedostatek vláhy nejen pro plodiny, ale i celou faunu a floru, trvá obvykle 6–9 měsíců. Půdní sucho lze obecně definovat jako nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, který způsobuje poruchy ve vodním režimu zemědělských plodin i volně rostoucích rostlin. Nedostatek vody ve svrchních částech půdního horizontu je důsledkem předchozího nebo ještě nadále trvajících sucha klimatického. Půdní sucho je základním předpokladem vzniku sucha zemědělského, které je možno zjednodušeně označit jako „promítnutí“ půdního sucha do zemědělské praxe. Intenzita a dopady zemědělského sucha jsou ovšem kromě vlastního deficitu vody v půdě ovlivňovány řadou dalších faktorů biologických (momentální stav porostů, odolnost jednotlivých odrůd vůči suchu), technických (způsob zpracování půdy, úroveň zemědělských strojů) i ekonomických (využití závlah),
- 3) *Hydrologické sucho*, kdy zaznamenáváme významné snížení hladin vodních toků, nádrží, rybníků atd. Vzniká následkem nedostatku srážek a projevuje se jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod. Nedostatek srážek se v podzemní části hydrologického cyklu projevuje s určitým zpožděním. Vznik hydrologického sucha je ovlivněn i užíváním vody, proto je třeba na hydrologické sucho pohlížet jako na přírodní fenomén, který však může být prohlouben lidským působením,
- 4) *Socioekonomické sucho*, kdy dopady sucha hrají roli ve snižování kvality života lidí, začíná ovlivňovat naši společnost a pocítíme je v produkčních, tak i neprodukčních ekosystémových službách (Wilhite 2005; Heim 2002; ČHMÚ 2022; Intersucho 2022).



Obrázek 9:Důsledky jednotlivých délek trvajícího sucha (Zahradníková 2018)

Meteorologické sucho je snadno indikovatelné na základě přístrojových měření. Další epizody sucha, v období před začátkem těchto měření, jsou obvykle rozeznatelná převážně z výskytu významných dopadů sucha, identifikovatelných v dokumentárních pramenech (například nízké výnosy plodin, nízké průtoky na řekách či vysychající vodní toky, socioekonomické problémy) nebo v proxy datech (například úzké šířky letokruhů stromů indikujících suchá období) (Brázdil et al. 2015). Rathore (2004) uvádí, že hydrologické sucho je důsledkem dlouhotrvajícího meteorologického sucha. Sucho má významné důsledky pro mnoho stránek lidské společnosti a ovlivňuje mnohé z jejích důležitých aktivit. Negativní důsledky sucha zahrnují především ekonomické ztráty velkého rozsahu, hladomor, epidemie nebo degradace půd (Potop et al. 2009).

Když porovnáme vliv sucha s ostatními hydrometeorologickými extrémními jevy jako jsou povodně, holomrazy, krupobití, pozdní a časná mrazy, extrémní teploty atd., v rámci střední Evropy i České republiky se tento jev řadí z hlediska hospodářských důsledků k těm nejproblematictějším a nejvýznamnějším (Trnka et al. 2011). Jako oblasti tradičně nejvíce a nejčastěji postižené zemědělským suchem můžeme označit regiony jižní Moravy plus některé okresy středních Čech. V poslední době se ale významné epizody sucha projevují i v okresech na střední Moravě, jako jsou Olomouc, Prostějov či Přerov (Zahradníček et al. 2016).

Monitoring sucha v České republice

Ústavem výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. (CzechGlobe), ve spolupráci s Mendelovou univerzitou v Brně (MENDELU) a Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ 2022), který dodává vstupní data pro výpočty, byl vyvinut nástroj Monitor Sucha. To představuje takový nástroj, který v sobě kombinuje výsledky pozemních měření, dynamický model vodní bilance a metody dálkového průzkumu Země. Monitor sucha alias Integrovaný systém pro sledování sucha se zaměřuje na meteorologické a zemědělské sucho, na jejich častější výskyt a následné ekonomické dopady pro

Českou republiku. Sledování sucha hraje také důležitou roli v dalších kategoriích jako je sucho hydrologické a socioekonomické.

Graficky jsou hodnoty vyjádřeny v jednoduché sedmi stupňové barevné škále viz **Obr. 11**. Všechna data jsou unifikována v jednotném gridovém neboli mřížkovém systému a jsou uložena na pracovišti Agrometeorologické observatoře ČHMÚ v Doksanech. Celý tento model vychází z prací Allen et al. (1998) a jejích modifikací a úprav tak, aby vyhovoval podmínkám v ČR. Pracuje s daty získanými z měření evapotranspirace na špičkových lyzimetrech, měření Bowenova poměru i Eddy Covariance. Úspěšně validován byl celý systém už i na 15 lokalitách ve střední Evropě (ČR a Rakousko) i na 12 lokalitách v USA. Model umožňuje odhadnout hodnotu obsahu půdní vláhly a aktuální a referenční evapotranspiraci pro 11 vegetačních typů ve dvou vrstvách kořenového profilu. Má v sobě zabudovaný dynamický růstový i fenologický model.

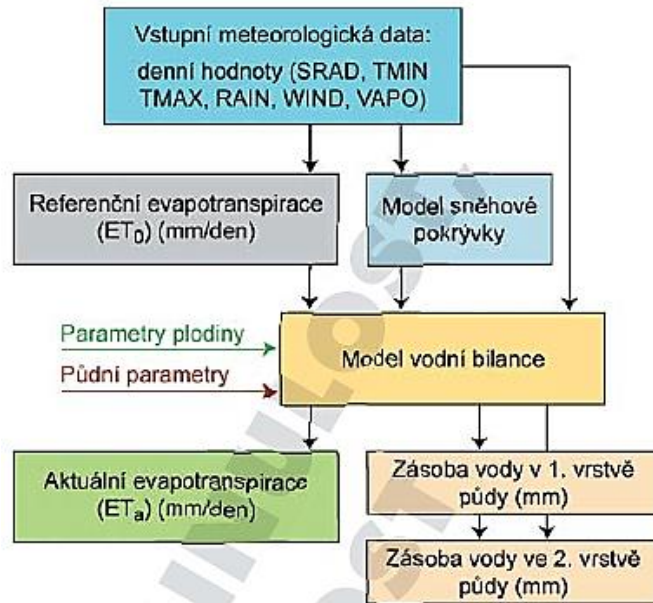
Kategorie	Popis	
Normální stav	Zásoba vody v půdě je blízká nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období. Obsah dostupné vláhly je větší než hodnota 30. percentilu	
S0 – snížená úroveň půdní vláhly	Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3-5 let. Obsah dostupné půdní vláhly v intervalu 20.-30. percentilu.	
S1 – počínající sucho	Snížená úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 5-10 let. Obsah dostupné půdní vláhly v intervalu 10.-20. percentilu.	
S2 – výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 10-20 let. Obsah dostupné půdní vláhly v intervalu 5.-10. percentilu.	
S3 – velmi výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 20-50 let. Obsah dostupné půdní vláhly v intervalu 2.-5. percentilu.	
S4 – výjimečné sucho	Půdní vlhkost dosahuje neobvykle nízkých hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 50-100 let. Obsah dostupné půdní vláhly v intervalu 1.-2. percentilu.	
S5 – extrémní sucho	Extrémně nízká půdní vlhkost, která se v daném období v průměru opakuje méně než jedenkrát za 100 let a současně nasycení půdy je nižší než 50% po více než 1 měsíc.	

Obrázek 10: Stupnice intenzity sucha a korespondující barevná škála (Intersucho 2022)

Systémová architektura využívá a vychází ze 3 základních pilířů.

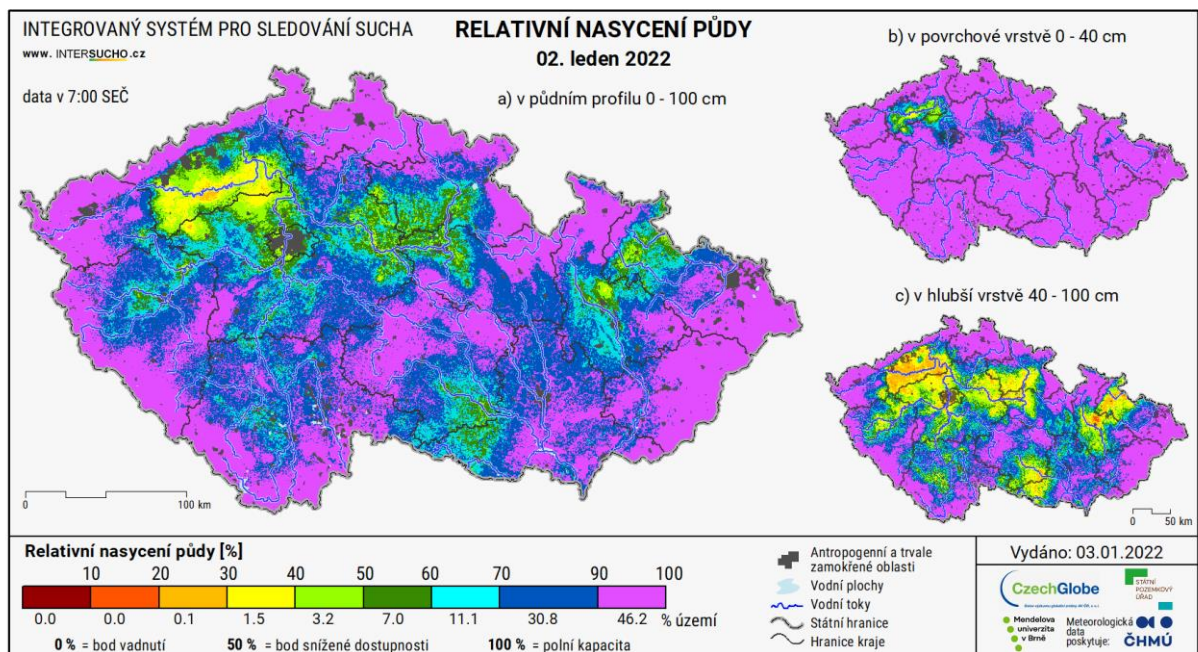
Prvním z pilířů je rozvinutá síť informátorů poskytujících pravidelná týdenní hlášení posuzující aktuální stav sucha a jeho dopady na úrovni katastrálních území, přímo z místa. Jedná se o síť expertních zpravodajů z oblasti zemědělství, lesnictví, ovocnářství, vinařství, školkařství a příbuzných oborů.

Druhým z pilířů je model vodní bilance SoilClim. Tento model maximálně využívá vstupní data z pozemních měření ČHMÚ. Výpočet, na základě dostupných informací a v rámci charakteristik gridu, bere do úvahy charakteristiku způsobu využití území s přihlédnutím k aktuálnímu stupni vývoje, úrovni svažitosti, vlivu expozice, zastínění horizontu na radiační bilanci a v neposlední řadě samozřejmě základní fyzikální vlastnosti půdy. Dále pak zahrnuje odlišný dopad sněhových srážek na vodní bilanci a bere v úvahu i možný vliv podzemní vody. Jedná se o vstupní proměnné jako: suma slunečního záření — SRAD, maximální a minimální teplota vzduchu — TMAX, TMIN, relativní vlhkost vzduchu nebo tlak vodní páry — VAPO, rychlost větru — WIND a úhrn srážek — RAIN viz **Obr. 12**. Základními výstupy modelu je pak odhadovaný obsah půdní vody v jednotlivých vrstvách, a také úhrn aktuální evapotranspirace pro daný den (Brázdil et al. 2015).

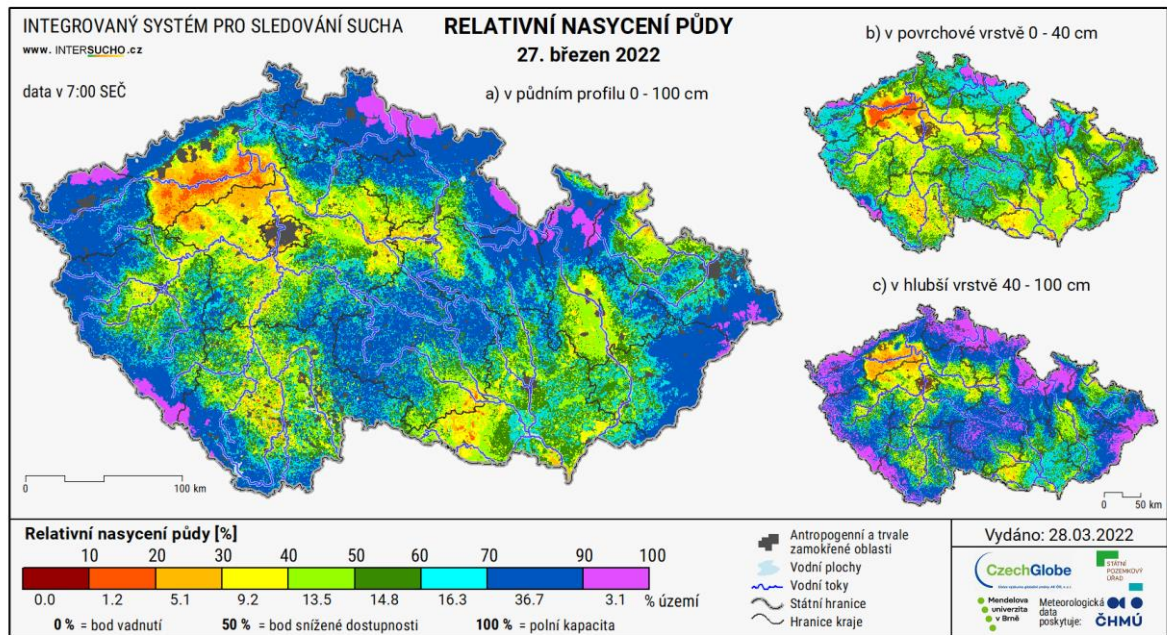


Obrázek 11: Schéma modelu SoilClim (Brázdil et al. 2015)

Půdní vlhkost a její aktuální stav odhadnutý modelem je porovnáván s 50letým dlouhodobým průměrem půdní vlhkosti stanoveným pro každý den z roku 1961 do roku 2010. V modelu SoilClim je půdní profil rozdělen do 2 vrstev. První svrchní vrstva zahrnuje prvních 40 cm půdního profilu (tj. ornice a přilehlá podorniční vrstva). Druhá vrstva pak zahrnuje vrstvu půdy od hloubky 40 cm do maximální hloubky kořenění (maximálně však do 1 metru). Model počítá s povrchovým odtokem i intercepací a zohledňuje důsledky změn výšky porostu nebo míru odrazivosti (albeda) povrchu v průběhu sezóny. Model, pro každý grid, poskytuje informace o aktuální a referenční evapotranspiraci a o obsahu vody v půdě v obou vrstvách. Jsou vyjádřené v mm buď jako obsah půdní vláhy nebo v % jako míra nasycení půdního profilu (Hlavinka et al. 2011) viz **Obr. 13 a 14**.



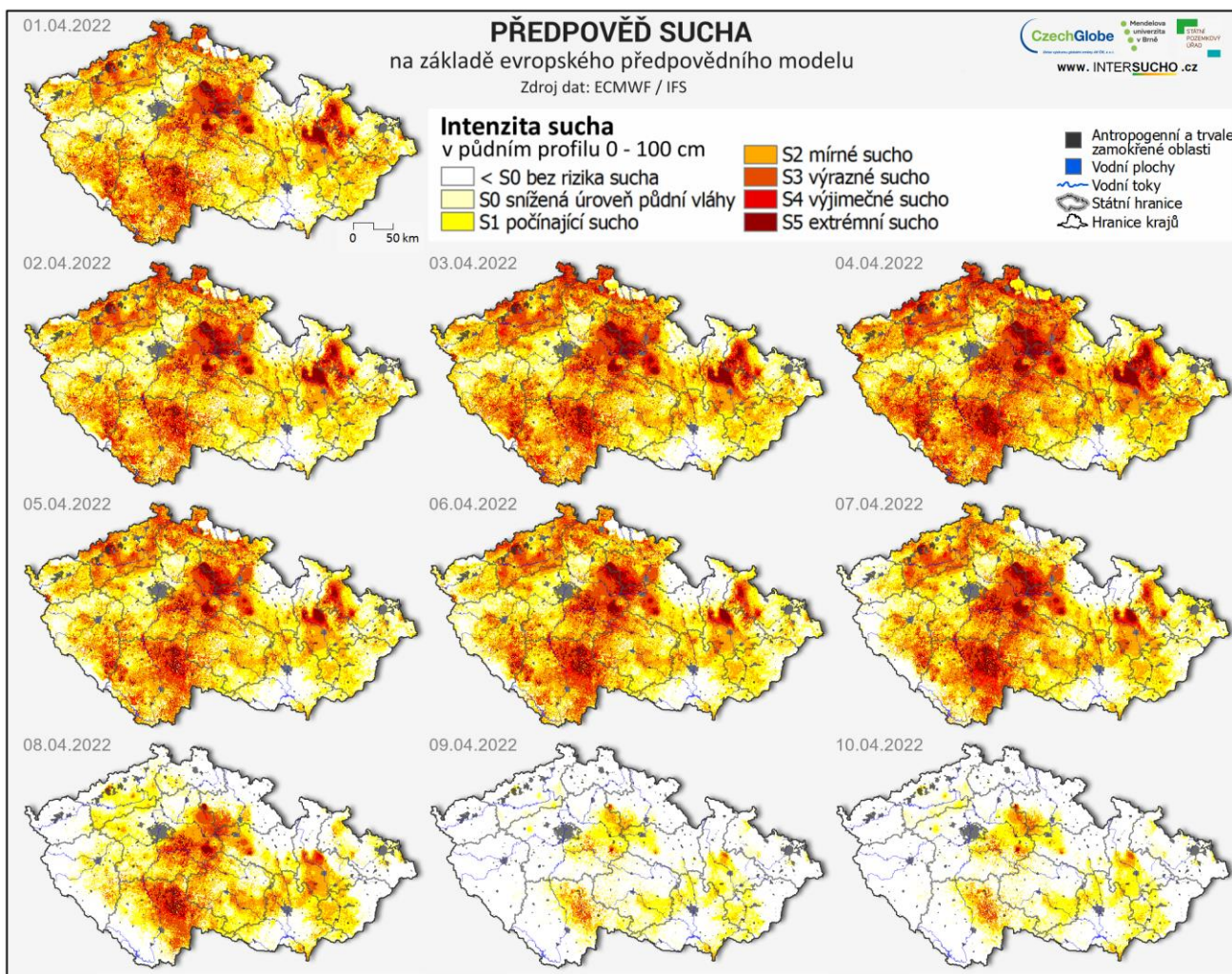
Obrázek 12: Procentuální vyjádření obsahu vody v půdě ze začátku roku 2022 (Intersucho 2022)



Obrázek 13: Pro porovnání - míra nasycení půdního profilu z 27.března (Intersucho 2022)

Třetím pilířem Integrovaného systému pro sledování sucha jsou snímky stavu vegetace pořizovaných družicemi Aqua a Terra systémem MODIS. Na základě předchozích 2 pilířů se jedná o doplnění o nezávislou analýzu dopadů sucha na vegetaci. Porovnává aktuální a archivní satelitní snímky stavu vegetace v rozlišení 250 m. V tomto posledním pilíři monitoringu sucha (ČHMÚ 2022) je zahrnuta spolupráce MENDELU, CzechGlobe a Geografického ústavu Masarykovy univerzity. Hlavním přínosem družicových snímků je získání informace o aktuálním stavu vegetace na celém území, a to v jeden okamžik a pro každý pixel snímku. To logicky u pozemního pozorování není možné. A tak poskytuje informaci v podstatně vyšším rozlišení než konvenční metody. Hodnoty satelitního měření, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), poskytují velmi cennou informaci o stavu vegetace a mohou být využity například pro indikaci míst s fyziologickým stresem (např. jako důsledek nedostatku vláhy) (Brown et al. 2008).

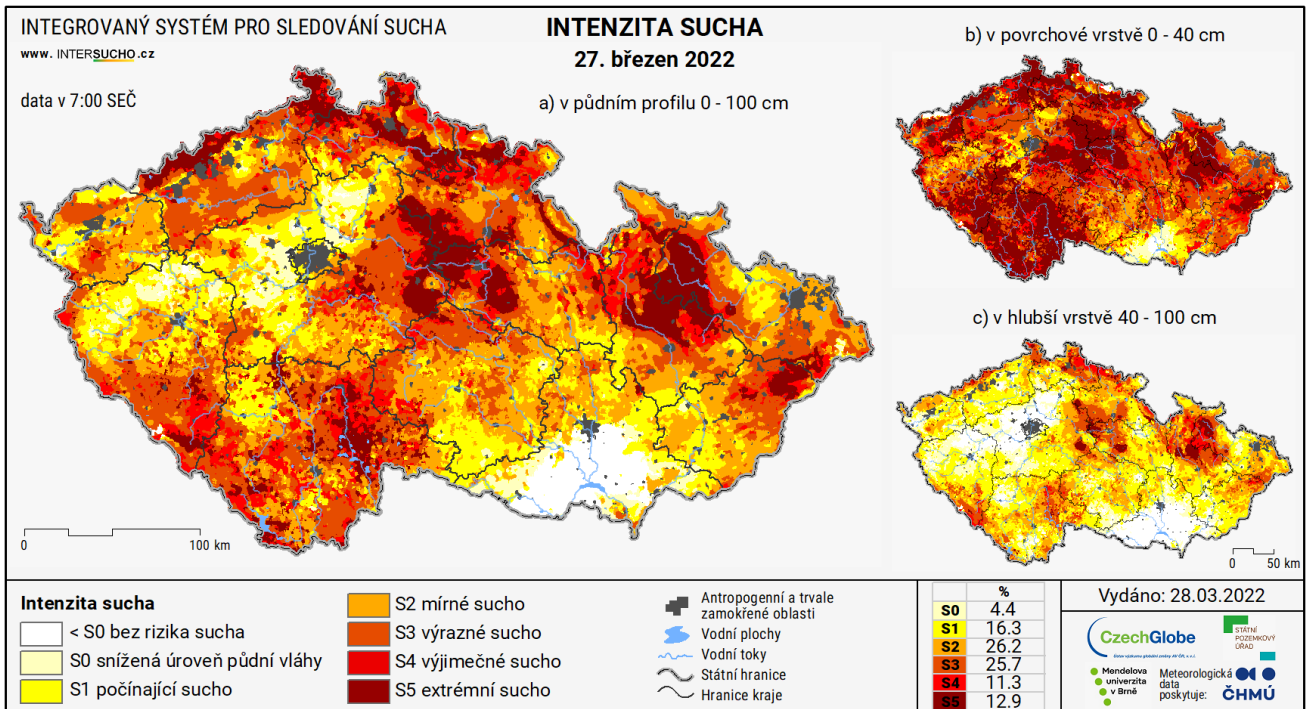
Výsledný produkt celého modelu je mapa intenzity sucha, ukázaná na **Obr. 15**. Pro každý grid stanovuje porovnání hodnot půdní vláhy dosažené v období 1961 až 2010 v časovém úseku ± 10 dní od posuzovaného data s aktuálními hodnotami obsahu půdní vláhy v daný den. Výsledkem je pak hodnota, která vyjadřuje pravděpodobnost opakování daného obsahu půdní vláhy v ten daný den. Pro přiřazení odpovídající intenzity sucha (S0 – S5) je použita tabulka podle škály uvedené v **Obr.11** (Intersucho 2022).



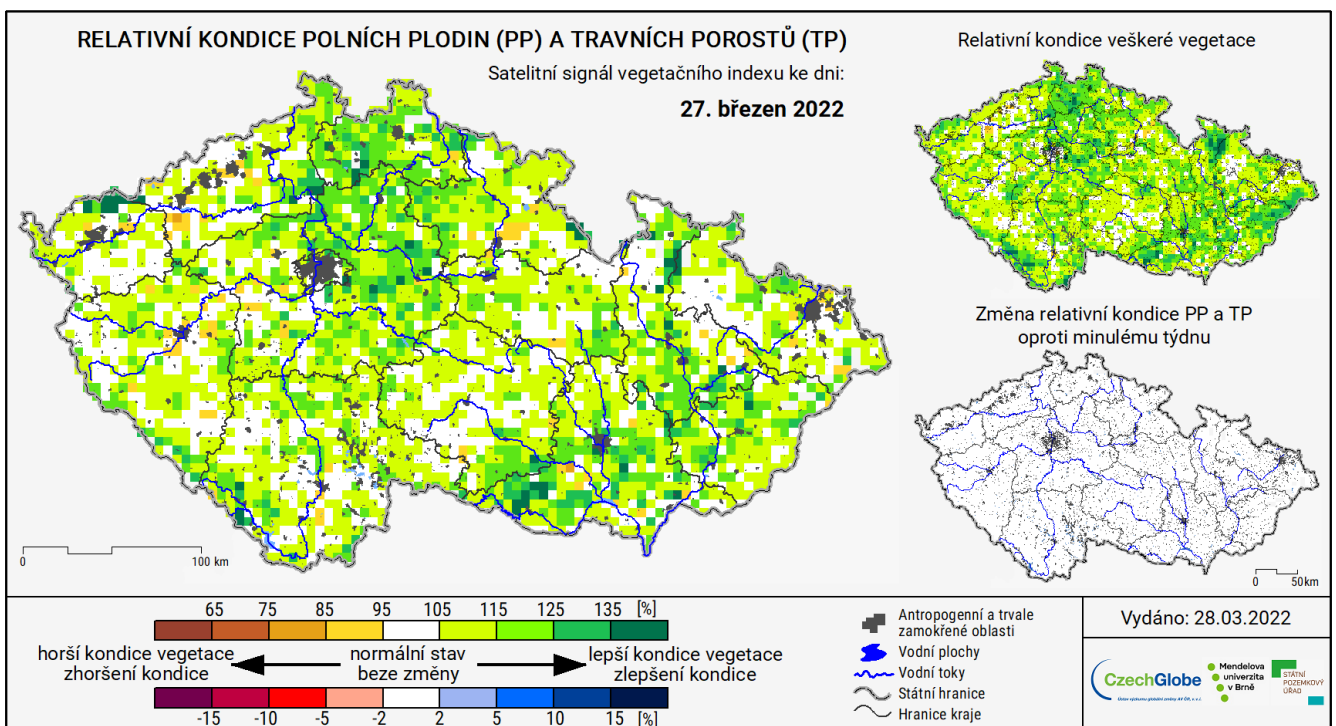
Obrázek 14: Intenzita sucha a její předpověď na 10 dní od 1/4 do 10/4/2022 (Intersucho 2022)

Finální mapové produkty zahrnují hlavně mapu Intenzity sucha, a to v celé hloubce půdního profilu. Mohou být ale také doplněny o podrobnější ukázání Intenzity sucha a to ve vrstvě 0 až 40 cm a 40,1 až ~100 cm. Základní mapa Integrovaného systému pro sledování sucha zachycující intenzitu sucha v profilu 0–100 cm (či do maximální možné hloubky prokořenění) je vydávána každé pondělí do 15:00 na základě situace v neděli v 7:00 středoevropského času. Tabulka v legendě pak zachycuje procento území nacházející se v jednotlivých kategoriích sucha **viz Obr.16**.

Jak již bylo řečeno, všechny mapy využívají stupnice S0 – S5 definované v **Obr.11**. Navíc pak, dle potřeby, mohou být doplněny o indikaci předpokládaných dopadů způsobených výskytem krátkodobého sucha (K) a dlouhodobého působení deficitu vodní bilance (D), kde jsou těmito symboly označovány regiony, kde sucho o intenzitě S3 a více trvá 1–3 měsíce (v případě krátkodobého sucha) nebo alespoň 3 měsíce (v případě sucha dlouhodobého). Na **Obr.17** pak můžeme vidět doplňující družicové měření, které se zaměřuje na informace o stavu vegetace (Intersucho, 2022).



Obrázek 15: Mapa Intenzity sucha doplněná o rozdělení jednotlivých povrchových vrstev (Intersucho 2022)

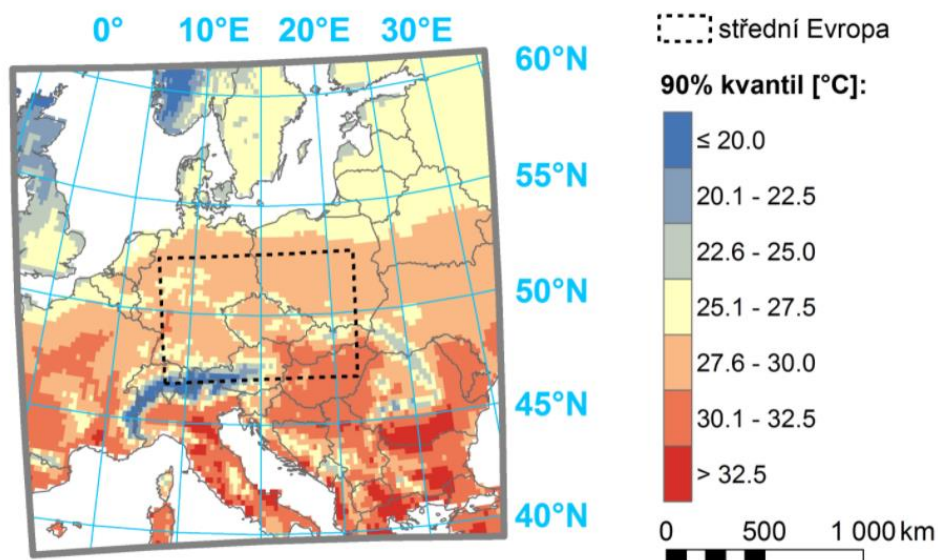


Obrázek 16: Informace o stavu vegetace (Intersucho 2022)

3.1.2.4 Vlny veder

Horké vlny, extrémní vedra – anglicky heat waves (HW) a období sucha většinou přicházejí společně. Vedra jsou způsobena prouděním horkého vzduchu a sucha nedostatkem srážkové nebo

podzemní vody. Většinou se tedy tyto 2 jevy vyskytují v podobnou dobu a primárně v letních měsících. Nárůst extremity vln veder je jedním z projevů současné globální změny klimatu. Jedná se o abnormálně horké počasí v několikadenní periodě léta. Výskyt těchto vln může mít na svědomí buďto jednotlivě, příliv velmi teplého vzduchu z jižního nebo východního směru, prohřívání zemského povrchu slunečním zářením za jasných dnů nebo nedostatek vody v krajině a s ním související snížený ochlazovací efekt výparu, anebo, což bývá většinou, součinnost všech těchto tří faktorů dohromady. Za vlnu veder je považováno alespoň třídenní období po sobě jdoucích horkých dní. Horký den nastává, pokud průměr odchylek denní maximální teploty vzduchu od 90 % kvantilu z jejího letního rozdělení je kladný. Tento 90 % kvantil je počítán pro období 1981–2010 ve střední Evropě viz **Obr. 18** níže. Jinými slovy, denní maximální teplota vzduchu musí být během vlny veder větší nebo rovna 30 °C. V ČR je to považováno za prahovou hodnotu pro výskyt vlny veder. Při této hranici meteorologové označují daný den jako tropický. Důležitou roli hraje i určitý počet dní, kdy teplota 30 °C musí být dosažena každý den.



Obrázek 17: Vymezení 90 % kvantilu maximální denní teploty vzduchu z jejího letního rozdělení (klimaweb 2022)

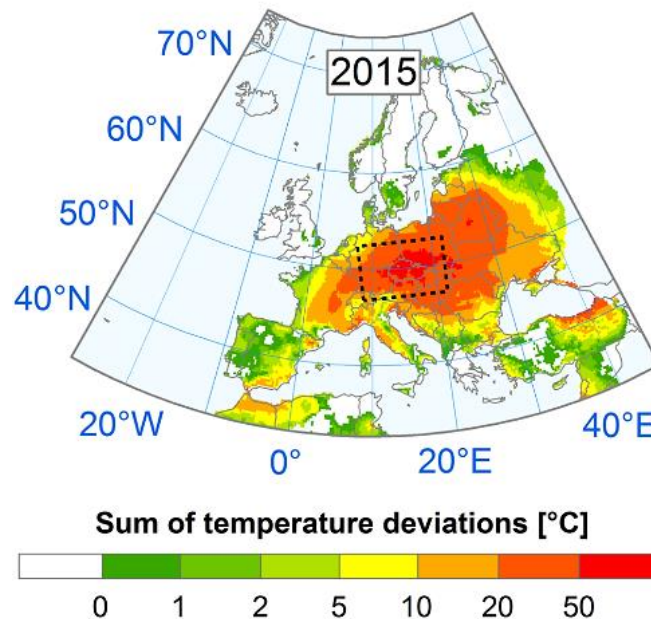
Vlny veder jsou v ČR poměrně běžné během letních měsíců, obzvláště v červenci a srpnu. Výskyt horkých vln má závažné dopady na přírodní prostředí i lidskou společnost. Patří mezi ně zvýšená nemocnost a úmrtnost (Arsenović et al. 2019; Kyselý & Kříž 2008), stres pro hospodářská i volně žijící zvířata, poškození zemědělských plodin, šíření škůdců a nadměrná spotřeba elektrické energie pro potřeby chlazení. Například, během extrémně horkého léta v roce 2003, byl zaznamenán i rekordní ústup ledovců v Alpách.

Vzhledem k narůstající extremitě, což znamená „součet všech kladných odchylek od 90 % kvantilu z jejich letního rozdělení ve střední Evropě po celou dobu trvání vlny veder, vážený počtem uzlových (gridových) bodů ve střední Evropě“, můžeme určit roky od druhého tisíciletí jako s rostoucími počty horkých dní (Kyselý a Kříž 2008; klimaweb 2022).

Během 60 posledních let se průměrná doba trvání horkých vln výrazně prodloužila o 3,4 dne v porovnání s dlouhodobým trendem 0,56 dne/10 let. Průměrné teplotní maximum během horkých vln se zvýšilo o 1,2 °C. Dle měření na 133 klimatologických stanicích v období posledních 60 let se ukazuje, že nejvíce se vyskytovaly horké vlny trvající 3 dny. Tvořily téměř polovinu ze všech

pozorovaných (47,9 %). Horké vlny čtyř denního charakteru tvořily 21,7 % a pěti denní 9,9 % z celkového počtu naměřených horkých vln. Například na stanici Strážnice (176 m.n.m.), byla zaznamenána mezi 23. červencem a 10. srpnem 2018 nejdelší horká vlna v délce 19 dní s průměrem max. teploty 32,9 C (Zahradníček et al. 2022).

V posledních letech se v České republice vyskytly některé extrémní vlny veder, které způsobily vysoké teploty a sucho v některých oblastech země. V roce 2019 byla v ČR zaznamenána jedna z největších vln veder v historii, kdy teploty v některých oblastech země překonaly 40 °C viz **Obr. 19**.



Obrázek 18: Ukázka vlny veder v období 3.-15.8.2015 s extremitou 40,1 °C v průběhu 13dní při 93% pokrytí plochy (klimaweb 2022)

Dle Zahradníček et al. (2022) je roční průměrný počet dnů s teplými anomáliemi definovaný s ohledem na práh 95 percentilu pro TMAX dosáhl, v ČR v období 1961–2020, 11,1 dne. Vlna veder má velmi zásadní dopad na rostliny. Je to vlna v nejteplejší části roku, při níž teplota vzduchu dosahuje obzvláště vysokých hodnot trvajících minimálně 3 dny po sobě. Jedná se o „den horký“ nebo také den tropický, což je charakteristický den, v němž maximální teplota vzduchu dosáhla hodnoty 30 °C nebo vyšší. K vymezení vlny veder se nejčastěji využívají denní maxima teploty vzduchu, přičemž prahová hodnota může být dána absolutně (v Česku zpravidla hranice pro tropický den 30 °C), nebo relativně vůči statistickému rozdělení hodnot této veličiny (např. 95 %). Ve Střední Evropě bývají vlny veder podmíněny advekcí tropického vzduchu do nitra pevniny v kombinaci s intenzivním radiačním ohříváním zemského povrchu a subsidencí vzduchu v týlové části anticyklon. V případě souběhu vlny veder s nahodilých suchem dochází k zesilování obou jevů jejich kladnou zpětnou vazbou. Počet, délka a intenzita vln veder patří mezi významné ukazatele změn klimatu. Světové meteorologické organizace (SMO) říká, že za horkou vlnu považujeme minimálně pětidenní období, ve kterém maximální teplota je minimálně o 5°C vyšší než průměrná maximální teplota pro daný den. U nás bývá taková vlna podmíněna prouděním tropického vzduchu nebo postupně se prohřívající tlakovou výší, která setrvává nad přehřátou pevninou (Sobíšek et al. 1993). Definice navrhaná SMO přihlíží k místním podmínkám (srovnává v dané lokalitě aktuální teplotní maxima s dlouhodobým průměrem) a je proto vhodnější, než jen často používané období s teplotou nad 30°C. Její objektivitu lze ukázat například na „horké

vlně“ z počátku června roku 2003, kdy od 2. 6. 2003 do 13. 6. 2003 je takto zaznamenaná i na Lysé hoře v Beskydech – maximální teplota v těchto dnech byla na tomto beskydském vrcholu jen nad 20°C a nejvýše dosáhla 11. 6. 2003 neuvěřitelných 27,5 °C. Tyto hodnoty však byly po celé období více než 5 °C nad průměrnou maximální teplotou v této lokalitě (Heim 2002).

3.1.2.5 Srážky

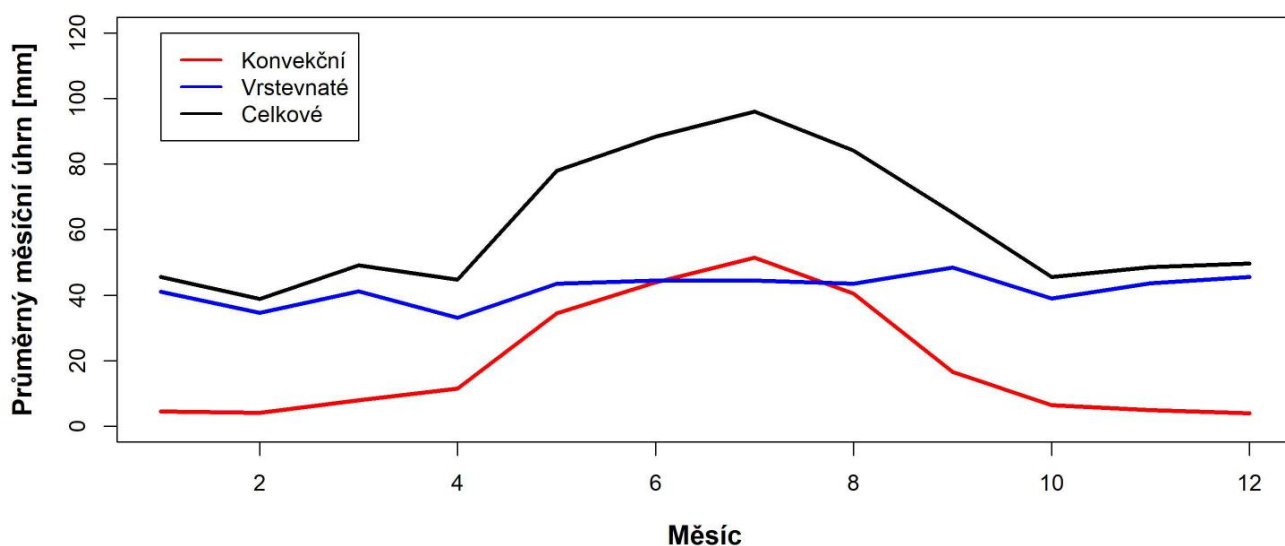
ČR je vzhledem ke srážkovým úhrnům velmi specifická a proměnlivá jak v čase, tak v prostoru. Velký vliv hraje proměnlivá nadmořská výška s návětrnými a závětrnými efekty horských překážek. Ve vztahu k vegetaci a zemědělské výrobě rozhoduje rozložení srážek během roku. Roční chod srážek v ČR můžeme charakterizovat jako kontinentální s maximem v létě a s minimem v zimě, v poměru 40 % a 15 % srážek. 25 % srážek pak připadá na jaro a 20 % na podzim. Průměrný úhrn srážek na území ČR je 686 mm za rok. V letním období mají často přívalových charakter a vedou ke vzniku povodní a mívají erozní dopad. Srážkově bohaté je ale i jaro. Přicházející květnové deště vznikají jako důsledek prvních výraznějších teplotních rozdílů mezi prohřívající se pevninou a chladným oceánem. Způsobují ale mnoho problémů, protože na jaře neexistuje ještě dostatečný vegetační půdní kryt.

Výnosovou variabilitu u plodin způsobují srážky z 55–65 %. Závislost plodin na srážkách se zvyšuje nejen v závislosti na půdních podmínkách a suchosti klimatu, ale i s nerovnoměrným rozdělením srážek v průběhu roku. Roční chod celkových srážek typický pro Českou republiku má jedno maximum v létě a jedno minimum v zimě. Maxima v připadají převážně na červenec, ale mohou být přesunuta i na červen. Minima se objevují výhradně v únoru. Tento chod je dán dvěma typy ročních srážek – konvekčních a vrstevnatých.

Konvekční srážky jsou srážky atmosférické, které vypadávají z kupovitých oblaků (zejména z kumulonimbů). Jsou přeháňkového nebo až lijákového charakteru s krátkou dobou trvání a často větší intenzitou. Bouřka je jejich často nedílnou součástí. V létě, v našich zeměpisných šířkách, jsou obvykle tvořeny velkými dešťovými kapkami, někdy i kroupami. V přechodných ročních dobách a v zimě jsou zpravidla tvořeny mokřým sněhem nebo sněhovými krupkami.

Vrstevnaté srážky jsou srážky atmosférické, které vypadávají z vrstevnatých oblaků (zejména druhu nimbostratus a altostratus). Jsou tvořeny vodními kapkami nebo ledovými částicemi. Trvají delší dobu a mají víceméně stálou intenzitu. Obvykle padají ve tvaru deště, mrholení, sněhu, sněhových zrn a zmrzlého deště nebo kroup. Tento druh srážek bývá často pozorován nad většími územními celky.

Roční chod celkových srážek je dán výrazným chodem konvekčních srážek vyskytujících se v letním období. Nejméně konvekčních srážek se vyskytuje v zimě (asi 10 % celkového úhrnu). Druhý typ srážek, vrstevnatých, je rozdělen relativně rovnoměrně po celý rok a nejvíce se podílí na celkovém ročním úhrnu srážek. Vyrovnaný podíl konvekčních a vrstevnatých srážek je jen v létě, kdy těch konvekčních je v průměru 51 % a vrstevnatých 49 %. Pro oba typy srážek průměrné roční úhrny srážek narůstají s rostoucí nadmořskou výškou. Nárůst je ale výraznější pro srážky vrstevnaté. Silné srážky na nížinných stanicích jsou častěji konvekčního původu **viz Obr. 20** (klimaweb 2022).



Obrázek 19: Průměrný roční chod srážek v letech 1982-2016 (klimaweb 2022)

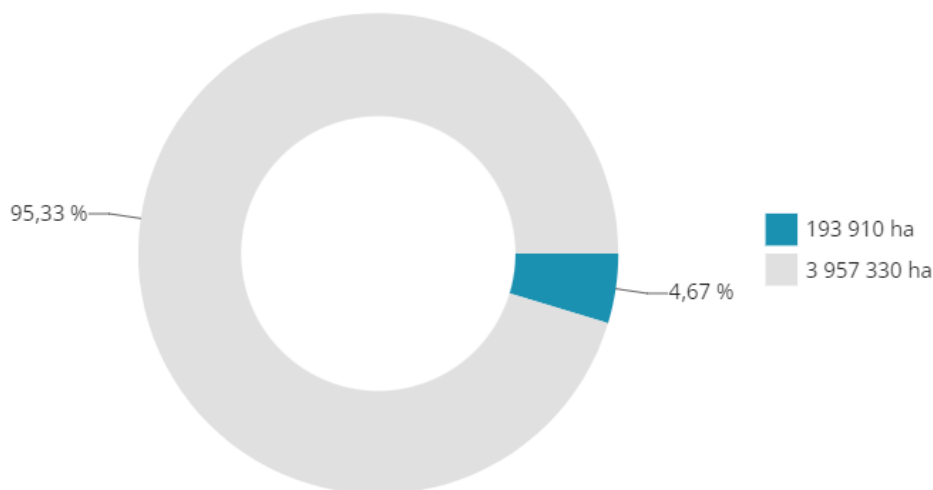
Konvekční a vrstevnaté srážky mohou mít velký vliv na zemědělství a infrastrukturu. Speciálně, pokud se změní jejich charakteristiky. U nedostatku vrstevnatých srážek může dojít ke snížení půdní vlhkosti (v extrémním případě až k suchu). U jejich nadbytku, a to zejména při silných vrstevnatých srážkách, může dojít až k povodním. Silné konvekční srážky mohou zase způsobit přívalové (bleskové) povodně, půdní erozi a sesuvy půdy (klimaweb 2022).

Extrémní denní srážky -> Extrémní denní srážky jsou obecně značně prostorově proměnlivé. Jejich časový výskyt je téměř výhradně omezen na letní půlrok (duben–září) a vyskytují se spíše v lokálním měřítku (jednotky až desítky km²). Součástí kategorie extrémních srážek jsou i tzv. přívalové srážky, kdy v řádu desítek minut až několika hodin je dosaženo extrémně vysokých úhrnů. Doprovodným jevem přívalových srážek může být i krupobití. Veškeré tyto projevy jsou vázány na existenci mohutné vertikálně vyvinutých bouřkových oblaků druhu *Cumulonimbus*. Byť se podobné jevy projevují lokálně, mají významné negativní účinky na zemědělské plodiny víceméně v kterékoliv fázi jejich vývoje.

Bouřky spojené s krupobitím jsou v České republice relativně běžné, zejména v období letního a přechodného období (květen až září). Krupobití může způsobit značné škody na majetku a zemědělských plodinách, a také ohrozit bezpečnost lidí. V oblastech s častými bouřkami a krupobitím jsou zpravidla instalovány speciální sítě, které mají za úkol chránit majetek a zemědělské plodiny před krupobitím. V některých případech se však může krupobití objevit i v oblastech, kde je méně obvyklé, a způsobit nečekané škody.

Problémem naší krajiny není jen sucho a nedostatek vláhy, ale v posledních letech i zvýšená hladina podzemních vod nebo dlouhodobé převlhčení povrchu půdy v určitých lokalitách. Podmáčené půdy rozlišujeme na stagnogleje a gleje. Výskyt těchto půd je značně lokální, pravidelně poblíž vodních toků nebo v notně složitém terénu. Pro glej je typický výskyt vysoké hladiny podzemní vody. Tento geneticky půdní typ se tak vyskytuje v dlouhodobě vodou nasycené zóně. Pro stagnogleje je spíše typická dlouhá doba převlhčení profilu na povrchu. Podmáčené půdy jsou vymezeny na základě Taxonomické klasifikace půd, tzv. trvale a periodicky zamokřených půd **viz Obr. 21**. Tyto půdy mohou být ovlivněné provedenými hydromelioracemi v minulosti z dob socialismu. Nadbytek vody v dané lokalitě způsobuje nevyváženost mezi poměry vody a vzduchu v půdních pórech. Rostliny

pěstované na této půdě zásadně trpí nedostatkem kyslíku. Nedostatek vzduchu pak také omezuje mineralizaci organické hmoty a následné anaerobní rozkladné procesy. Trvalé zamokření má za následek uhnívání kořenů a odumírání rostlin (eAgri 2022).



	Rok 2022		Rok 2019		
	Zastoupení (%)	Výměra (ha)	Výměra (ha)	Rozdíl (ha)	Rozdíl (%)
Trvale zamokřené půdy					
trvale zamokřené půdy	4,67	193 909,76	194 932,58	-1 022,82	-0,52
ostatní zemědělská půda	95,33	3 957 329,57	3 964 329,44	-6 999,88	-0,18
celkem	100,00	4 151 239,32	4 159 262,02	-8 022,70	-0,19

Obrázek 20: Přehled Trvale zamokřených půd v ČR (VÚMOP 2020)

3.1.3 Základní údaje o stavu zemědělství v České republice

Výměra zemědělské půdy v ČR aktuálně činí 4,2 mil. ha. Rozhodující část této plochy 3 mil. ha (71 %) představuje orná půda, na které jsou v rámci osevních postupů střídány jednotlivé plodiny podle pěstitelských oblastí a vlastního zaměření. Trvalé kultury tvoří trvalé travní porosty (978 tis. ha), zahrady a ovocné sady (209 tis. ha), vinice (19 tis. ha) a chmelnice (10 tis. ha).

Zemědělský půdní fond (orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty) představoval k 31.12.2021 podle evidence katastru nemovitostí celkem 4200,2 tis. ha, což představuje 53,25 % z rozlohy státu. Obhospodařovaná zemědělská půda obsahuje 1,3 mil ha a orná půda pak 2,9 mil ha. V roce 2020 bylo ve strukturální zemědělské statistice ČSÚ evidováno cca 28,9 tis. subjektů, z toho 4,5 tis. subjektů ekologického zemědělství. Zaměstnáno je v nich 176 tis. pracovníků, z toho plně zaměstnaných pracovníků 95 tis. Od roku 2000 však počet zemědělských subjektů poklesl celkově o čtvrtinu, mezi fyzickými subjekty pak skoro o třetinu. Přitom výměra těchto subjektů se zvýšila z cca 93 ha na 121 ha. Znamená to, že se české zemědělství více koncentruje do větších podniků. Na významu postupně nabývá také ekologické zemědělství. Soběstačné bylo Česko v roce 2020 ve výrobě hovězího a telecího masa, mléka, mléčných výrobků a cukru. V ostatních položkách bylo závislé na jejich dovozu. Produkce zemědělského odvětví se neustále zvyšuje, jak můžeme vidět na **Obr. 22**, kde je vidět v roce 2020 zřetelný nárůst oproti roku 2002 téměř o polovinu (ČSÚ 2021; ČÚZK 2022; Statistika&My, 2021).

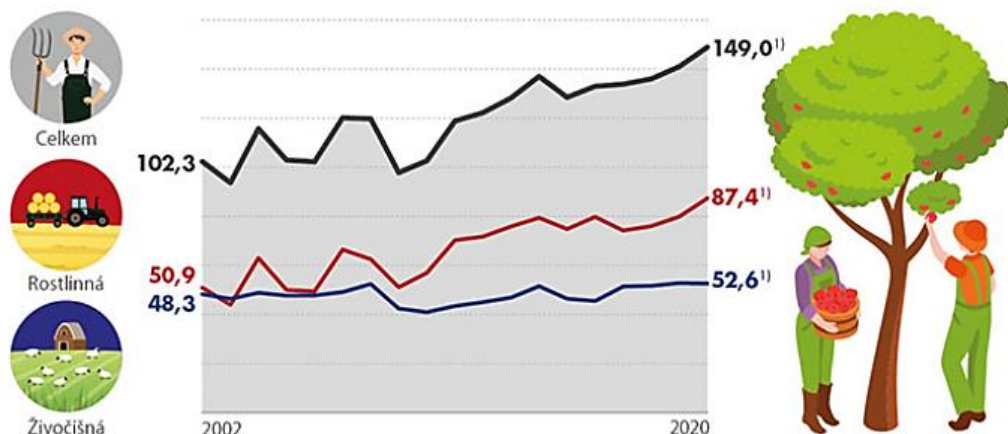
Z celkové sklizňové plochy obilovin v ČR v roce 2021, tj. 1 345,8 tis. ha, zaujímaly největší podíl pšenice (784,7 tis. ha, tj. 58,3 % celkové plochy) a ječmen (326,7 tis. ha, 24,2 %). Třetí nejvýznamnější obilovinou byla kukuřice na zrno s výměrou 102,4 tis. ha, podílející se 7,6 % na celkové ploše obilovin. Přitom kukuřice na zeleno a siláž se pěstovala na cca 217 tis. ha. Cukrová řepa pro výrobu cukru se v ČR v roce 2021 pěstovala na ploše 61,2 tis. ha. Brambory zaujímaly 22,8 tis. ha. Z olejnin dominuje řepka olejná a v roce 2021 se v ČR pěstovala na produkční ploše 342,3 tis. ha. Plochy chmele zaujímají 4,98 tis. ha. Vinice se každý rok rozšiřují, v roce 2021 se rozprostíraly na ploše 16,4 tis. ha. Zato výměry ovocných sadů v ČR se postupně snižují. V současnosti dosahuje celková plocha ovocných sadů cca 16 tis. ha. Zvyšující se trend zaznamenává produkce zeleniny, která zaujímá 11,99 tis. ha. Stejně tak rostou i plochy trvalých travních porostů s plochou 980,6 tis. ha (ČSÚ 2021, 2022; ČÚZK 2022).

V živočišné výrobě byly na konci roku 2021 stavy skotu na 1 412,3 tis. ks, stavy prasat okolo 1 509,9 tis. ks a stavy drůbeže na 25,6 mil. ks (ČSÚ 2021).

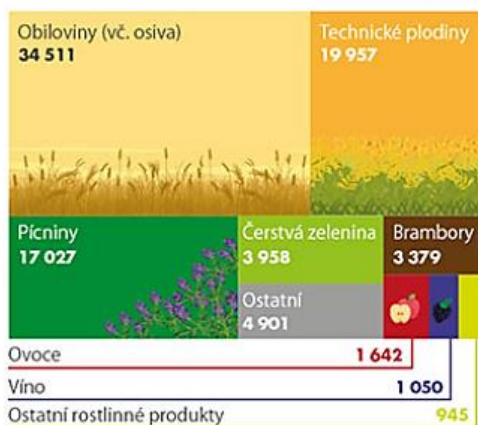
Zemědělství se podílí i na výrobě energie v ČR z obnovitelných zdrojů energie (OZE). V roce 2020 se podílelo biomasou z 24,16 % a bioplynem z 25,10 %. Další významné zdroje jsou 22,11 % fotovoltaika, 20,72 % vodní elektrárny a 6,76 % větrné elektrárny. Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů se v roce 2020 podílela na celkové tuzemské hrubé výrobě elektřiny z 12,7 %. Pro zbytek výroby energie dominuje hnědé uhlí a jaderná energie (MPO 2021).



Produkce zemědělského odvětví (mln. Kč, běžné ceny)



Struktura rostlinné produkce zemědělského odvětví v roce 2020¹⁾ (mil. Kč, běžné ceny)



Struktura živočišné produkce zemědělského odvětví v roce 2020¹⁾ (mil. Kč, běžné ceny)



Obrázek 21: Zemědělská produkce v roce 2020 v porovnání s rokem 2002 (Statistika&My 2021)

3.1.4 Dopady změn klimatu na zemědělství ČR

Zemědělství prochází v současné době mnoha změnami. Území naší krajiny se týkají především změny stanovištních podmínek ve smyslu změny podmínek pro pěstování plodin a ochrana rostlin na základě změn ve výskytu škůdců a infekčním tlaku chorob nebo zvýšený výskyt meteorologických extrémů jako jsou sucha, záplavy či neočekávané mrazy (Žalud 2021).

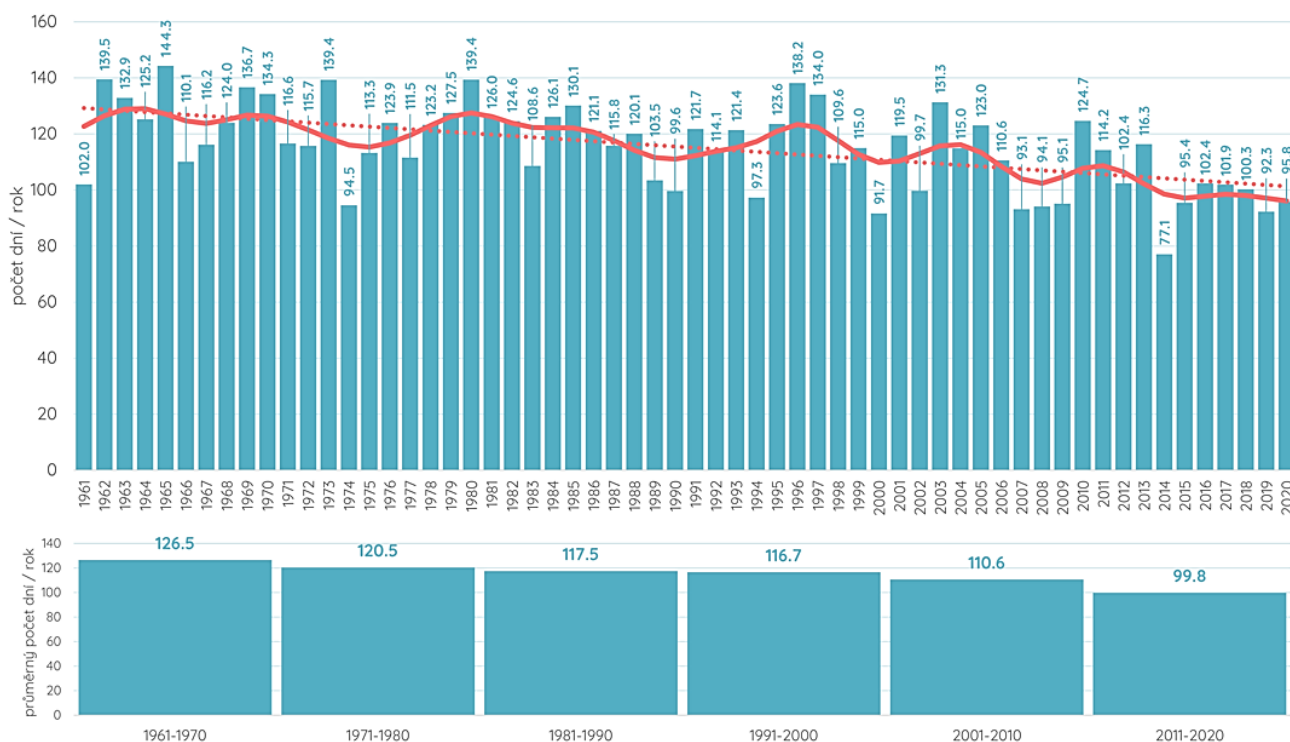
V případě výskytu sucha se zemědělství stává jednou z nejzranitelnějších hospodářských odvětví. Je kompletně závislé na vodě, která je jednou ze základních a nenahraditelných podmínek pro růst rostlin. Obecně je známo, že v porovnání se srážkami má většina našeho území během vegetační doby vyšší hodnotu výparu (potenciální evapotranspirace). Velmi důležité pro optimální výnos je proto zásoba vody v půdě z chladného půlroku. Ta pomáhá vegetaci i polním plodinám překlenout relativně dlouhé deficitní období. Pokud se však bude zimní půlrok výrazně oteplovat a měnit mobilita vody, bude nasycení půdy před počátkem sezóny čím dál nižší. A v důsledku toho pak můžeme očekávat prohloubení deficitu vodní bilance. Ve výsledku to značí častější a častější epizody sucha (Trnka et al. 2020).

Podle různých modelů vývoje klimatu je zřejmý dlouhodobý trend postupné ubývání sněhu na českém území. Vegetační období se prodlužuje a zimy se zkracují. Pozorujeme ubývání sněhu hlavně v listopadu, v březnu a v dubnu, což v nížinách ohrožuje nejvíc zemědělce a jejich úrodu. Trpí nedostatkem vláhy – tající sníh je klíčový pro doplňování zásob podzemní vody u pro půdní vláhu – a také tím, že rostliny začínají rašit dříve a sníh je neochrání před jarními mrazy (Kočí 2020).

Pšenice, ječmen, řepka, žito, triticales jako Ozimé plodiny se vysévají během podzimu. Na podzim vzejdou, intenzivně rostou a zapojují se do porostu. V listopadu a prosinci, ke konci podzimu, se jejich růst zpomaluje a ony získávají odolnost vůči nepříznivým faktorům zimy, hlavně mrazům (Prášil et al. 2004). Z modelů teplotní křivky průměrných denních teplot vzduchu vyplývá, že vyvrcholení zimy většinou připadá na druhou polovinu ledna a následuje postupné oteplování. To se ale v jednotlivých letech může velmi lišit, například situace, kdy je leden teplejší než únor. Pokud přijde oteplení dříve a sněhová pokrývka se rozpustí, nastupující ochlazení může pak vyvolat až výskyt holomrazů. To znamená den, kdy i při jasné obloze a denním maximu teploty vzduchu 15 °C, může noční přízemní teplota klesnout až k -20 °C a poškodit tak přezimovávající plodiny (Rožnovský 2011). Obecně lze říci, že při oteplování na podzim a v zimě rostliny ztrácejí otužilost, a tím stoupá riziko, že vymrznou i při mírnějších mrazech. Vymrznutí ozimů patří k nejčastějšímu poškození přezimujících plodin v České republice. Při působení holomrazů, s teplotami blížícími se k -18 °C, stačí i kratší období, aby došlo k rychlému promrznutí vrchní vrstvy ornice a následnému poškození odnožovacích uzlů obilnin či hypokotylové části řepky mrazem (Venclová 2021). Přezimování zemědělských plodin tedy významně ovlivňuje sněhová pokrývka. Její výskyt je velmi nepravidelný, hlavně v níže položených zemědělských oblastech. V průměru se maximální výška sněhové pokrývky pohybuje od 15 cm v nížinách do 200 cm na horách. Její výskyt činí v nížinách průměrně 40 dnů, na horách dosahuje až 200 dnů (Rožnovský 2011).

Rostliny se potřebují otužovat, pokud mají získat určitou mrazuvzdornost. Otužování pro ně znamená pozvolný pokles teplot až k bodu mrazu. Odolnost rostlin vůči nepříznivým faktorům zimy podporují i krátkodobé mírné mrazy (do -4 °C), avšak dlouhodobé podzimní teploty nad 10 °C spíše vzniku vysoké odolnosti brání (Prášil et al. 2021). Teplota rostlin bývá pravidelně o 2-8 °C vyšší než teplota vzduchu. Při oslunění, bezvětří a nízké transpiraci, která rostlinu významně ochlazuje, až o 10-20 °C vyšší. Teploty, které dosahují nad tepelné optimum (horko) nebo pod něj (chlad) rostlinu stresují

a mohou být při překročení určité hodnoty letální (Hrudová 2011). Zvyšování teplot je tedy jev, který pro zemědělství není moc žádaný, pro správnou zimu jsou potřebné i mrazové dny, tedy dny, kdy teplota přes den klesne pod teplotu 0 °C, tzv. pod bod mrazu. Na **Obr. 23** můžeme vidět neustále se snižující počet mrazových dní.



Obrázek 22: Snižující se počet mrazových dní v zimách od roku 1961 do 2020 (klimatická změna 2022)

Přítom výskyt mírných zim může také vést k rozšíření přezimujících druhů plevelů v ozimých plodinách jako je například blín černý (*Hyoscyamus niger*). Jejich vyšší konkurenční schopnost v zimním období se pak může stát prvkem, který významně ovlivní kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich následný růst v jarním období (Brázdil et al. 2022).

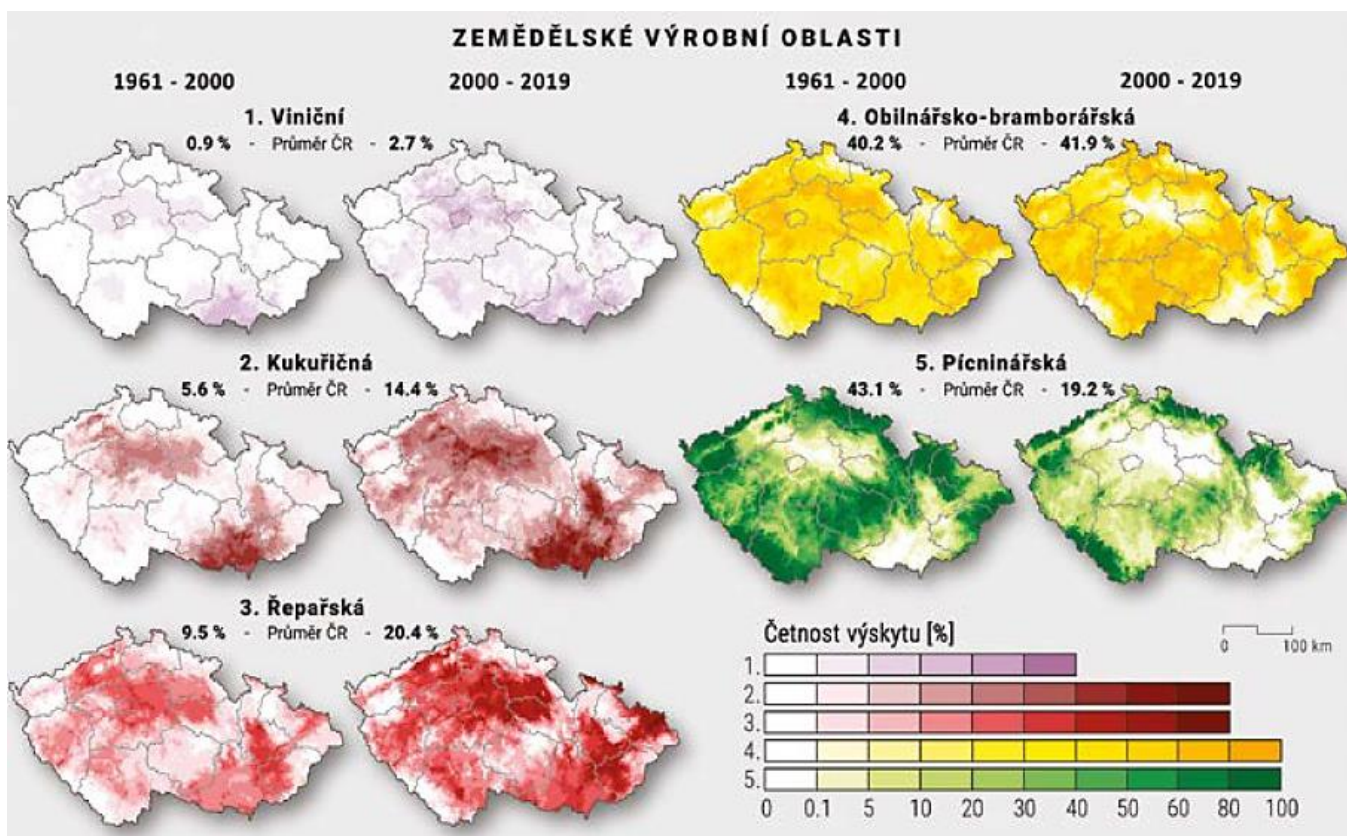
Teplé zimy a následná ochlazení v období března v posledních letech, s působením ranních mrazů v přízemní vrstvě vzduchu až k -10 °C a odpolední zvýšení teplot vzduchu o několik stupňů nad 0 °C , vede ke specifickému poškození částí ozimých rostlin. Rostliny během teplých zim pokračují stále v růstu a na konci prosince, po ukončení jarovizace, u nich probíhá postupná diferenciací květních orgánů. Přechod z vegetativní do reprodukční fáze u nich nastává tedy ke konci zimy a na počátku jarního období. Dříve tak vstupují do růstových fází a výrazně klesá jejich odolnost k mrazu přicházejícím v neobvyklých obdobích jara. V době těsně před kvetením a v době kvetení jsou rostliny k mrazu nejcitlivější. Stačí jen výskyt ranních teplot kolem 0 °C , aby došlo k nevratnému poškození diferencujících se květů a následnému vývoji klasů či lat. Vymrznutí a poškození mrazem přezimujících porostů v zimě je spojeno hlavně s promrznutím půdy a poškozením převážně podzemních částí rostlin. Následky těchto ranních mrazů nemusí být pro rostliny letální. Po oteplení pak obvykle dojde k jejich regeneraci. Avšak jarní mrazy jsou spojené především s poškozením nadzemních částí rostlin, což se může projevit ve zpomalení růstu a vývoje rostlin a snížením výnosového potenciálu. Například u vzcházejících listů jarních obilnin se může projevit zvlnění nebo vybělení částí prvních listů a zpožděním jejich jarního růstu (Klír 2022).

Vytváření rostlinné biomasy je primárně podmíněno množstvím dostupného slunečního záření, jehož spektrální část, tzv. fotosynteticky aktivní záření ($\lambda = 380\text{--}720\text{ nm}$) je nezbytnou součástí procesu fotosyntézy. Sluneční záření přímým způsobem ovlivňuje vývoj plodiny a v konečném důsledku i úroveň výnosu (Klír 2022).

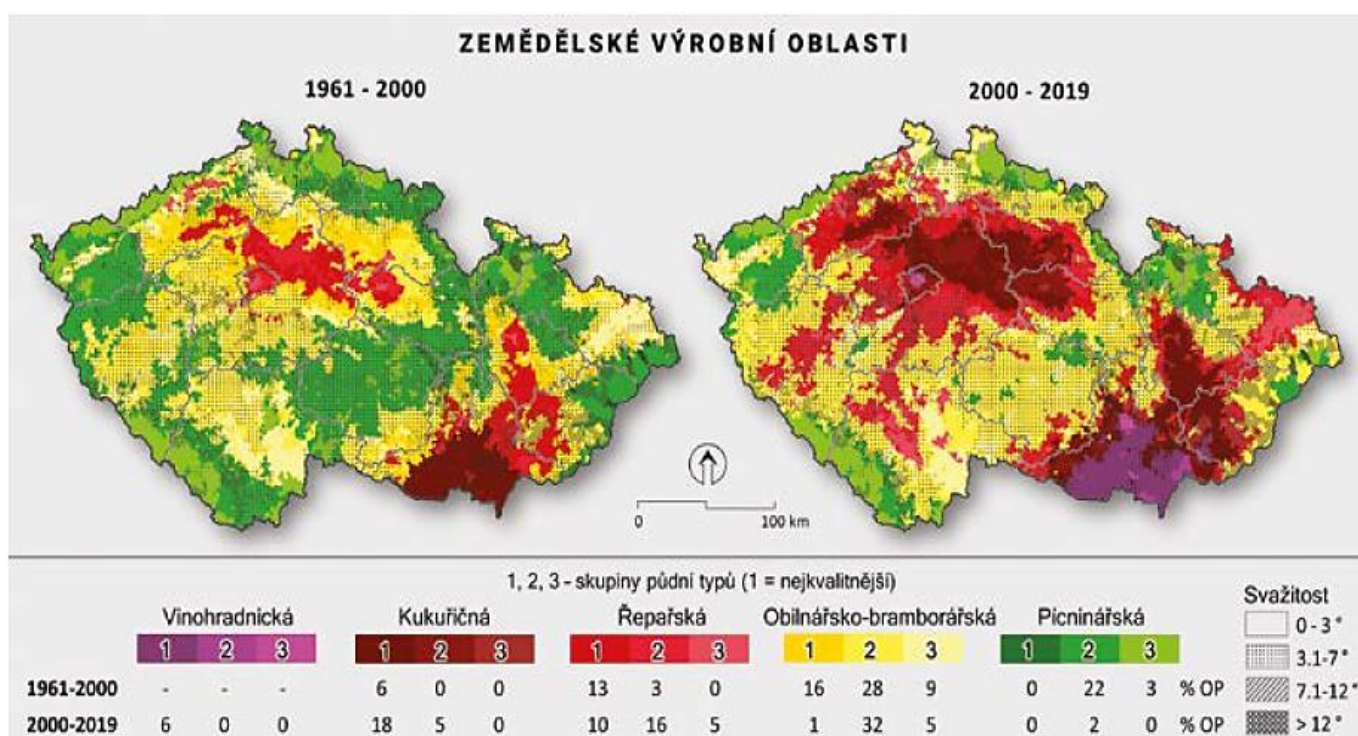
3.1.5 Dopady změn klimatu na zemědělské výrobní oblasti

Klima dále ovlivňuje způsob využívání území, přičemž obecně platí, že sušší a teplejší oblasti jsou v rámci zemědělství využívány k rostlinné výrobě. Ve vlhčích a chladnějších regionech se uplatňuje převážně lesnictví, eventuelně živočišná výroba.

Změny agroklimatických podmínek v posledních šedesáti letech jasně ukazují také s tím korepondující změny v rozsahu a umístění výrobních oblastí. Nejnovější přístup pro vymezení zemědělských výrobních oblastí a podoblastí v České republice byl zpracován v roce 1996 na základě výsledků bonitace zemědělských půd ČR a jejich ocenění podle vyhlášky MF č. 178/1994 Sb., 15 a vyhlášky MZe ČR č. 215/1995 Sb. Všechny tyto oblasti jsou pojmenovány podle nejtypičtější pěstované plodiny v daném regionu. Jde hlavně o kukuřičnou, řepářskou, obilnářskou-bramborářskou, pícninářskou a novou „vinohradnickou“ oblast. Mezi nejčastější plodiny na českých polích se řadí pšenice, řepka, ječmen, žito a kukuřice. Nejzásadnější posuny mezi výrobními oblastmi se z většiny dějí na úkor té pícninářské. Ale i přesto je v našich zemích tato výrobní oblast nejrozsáhlejší. Vývoj výrobních oblastí v rámci českých zemí ukazuje **Obr. 24 a Obr. 25**. Je z něho patrný ústup pícninářské výrobní oblasti na jedné straně a rozšíření ploch výrobní oblasti kukuřičné (objevující se i na Mělnicku a Lounsku) a řepářské (například severní Morava, jihozápadní Čechy, východní okraj Českomoravské vrchoviny) na straně druhé. Oblast klasifikovaná jako vinohradnická, jak je vidět na Obrázcích níže, zase téměř stoprocentně nahrazuje v oblasti jižní Moravy výrobní oblast kukuřičnou. Zásadní změny dostupnosti půdní vláhy a teplotních charakteristik v těchto oblastech zapříčinily, že původně vymezené výrobní oblasti pro období 2000-2019 nemohly být proveditelné a nastala nutnost zavést oblast se suššími a teplejšími agroklimatickými podmínkami, než by bylo běžné v kukuřičné výrobní oblasti. V předchozí pozorované periodě 1961-2000 byla totiž kukuřičná výrobní oblast, s dominancí na jižní Moravě, považována za tu nejteplejší a nejsušší. Přesto se plocha kukuřičné výrobní oblasti v období 2000-2019 s jejím režimem suboptimálním půdní vlhkosti, zvýšila třikrát oproti periodě 1961-2000. A to na 18 % z původních 6 % zemědělské půdy ČR. Případ nové existence vinohradnické výrobní oblasti nám jasně ukazuje potřebu hledat nové postupy nebo alespoň plodiny, které se dokážou dobře adaptovat na čím dál sušší agroklimatické podmínky. Jedná se například o plodiny jako je čirok, proso, sója nebo slunečnice ze středomořské nebo subtropické oblasti. Ve výsledku se původní Haná nebo Polabí, naše nejproduktivnější oblasti pěstování současných plodin, přesunuly z řepářské výrobní oblasti do teplejších a sušších podmínek kukuřičné oblasti. Má to tedy logicky za následek, že v těchto dříve nejproduktivnějších oblastech, zaznamenáváme úbytek výnosového potenciálu. Avšak zase na druhé straně můžeme pozorovat zlepšení produkčních poměrů ve vyšších nadmořských výškách s původně suboptimálním teplotním profilem (Trnka et al. 2021).



Obrázek 23: Vývoj zemědělských výrobních oblastí mezi lety 1961-2000 a 2000-2019 (AGRObase 2021)



Obrázek 24: Území ČR katastrálně rozdělené dle příslušné výrobní oblasti rozdělené dle převažujících agroklimatických podmínek zároveň s kvalitou půdy daného regionu (znázorněno barvou a čísly 1-3). Dominantní sklon zemědělských půdních jednotek se třemi tóny stínování představuje přístupnost orné půdy a zejména míru potenciálního erozního ohrožení (AGRObase 2021).

3.2 Praktická část

Následující kapitola se zabývá obecnými poznatky a vývojem zvolených zemědělských plodin v kontextu výše popsaných meteorologických jevů zároveň s dopady na vybrané zemědělské plodiny v ČR. Bude se jednat o plodiny: obilniny – ječmen a pšenice, kukuřice; chmel; vinná réva a z ovocných stromů meruňky. Tato část se bude snažit zasadit extrémní výkyvy počasí týkajících se konkrétně vyjmenovaných plodin do souvislostí. Popíše či vysvětlí jaký extrém a na jakou plodinu v jaké míře působí, jak se dotýká a mění její výnosové charakteristiky, možnosti růstu nebo výsevu.

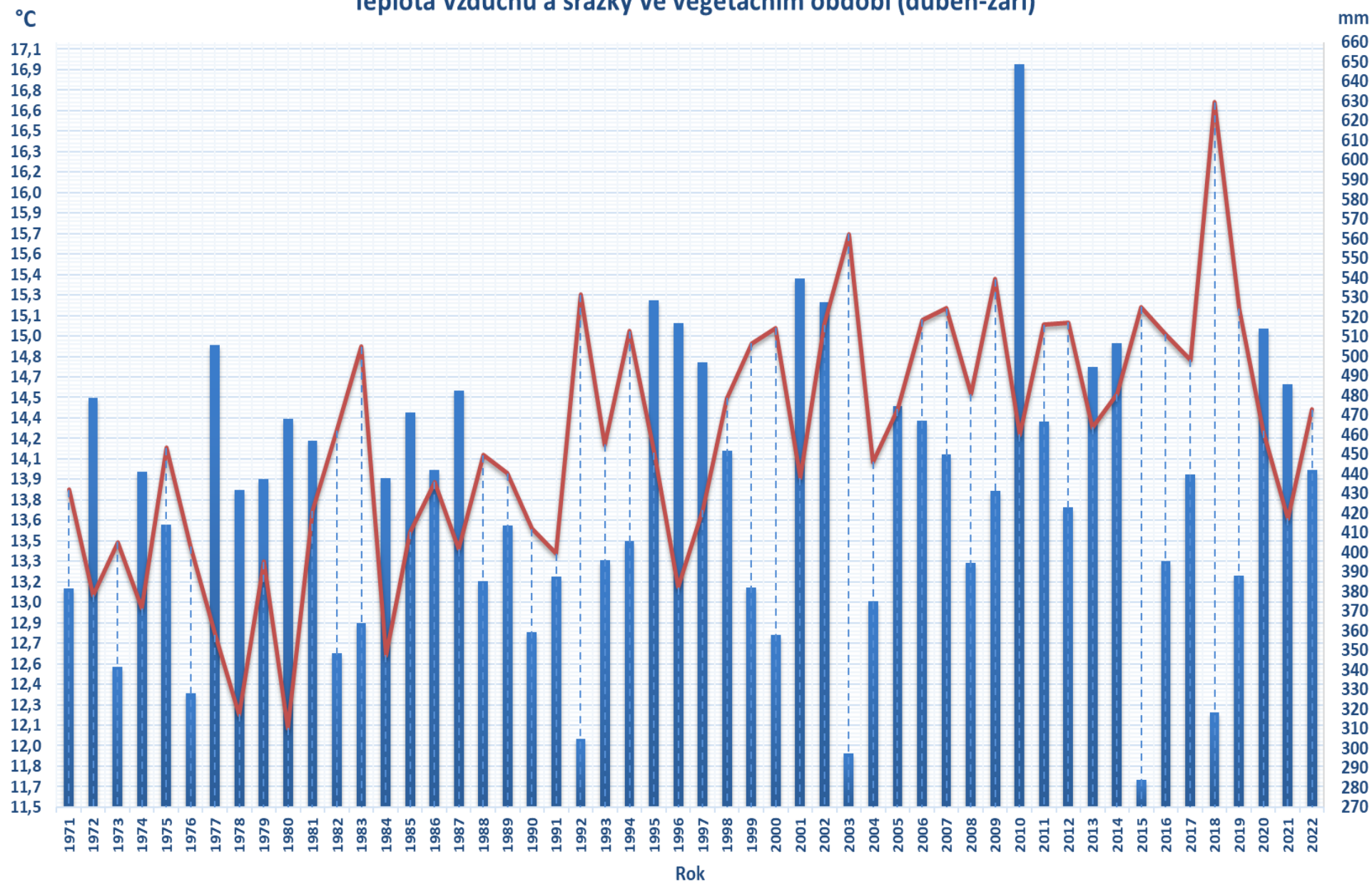
Stresy ovlivňující výnos a kvalitu sklizně zemědělských plodin se dělí do dvou základních skupin na **abiotické** a **biotické**:

Abiotické	
Typ rizika	Rizika
zimní mrazy	pro přezimující porosty, důsledek nízkých teplot
vyležení pod sněhem	pro přezimující porosty, důsledek vyčerpání rostlin, jejich poškození a následné napadení houbovými patogeny pod sněhem, vliv teploty a sněhu dohromady
vegetační mrazy	poškození porostů pozdními mrazy (jarní i podzimní) vliv nízké teploty
nízký příjem živin	nedostatečný příjem živin z půdy a minerálních hnojiv vliv teplot a srážek dohromady
vedro a sucho	poškození vegetace zkrácení fenologických fází rostlin vliv vysoké teploty
silný vítr	neefektivnost postřiků a jejich neekologické využití možnost kontaminace okolního prostředí
poléhání	poškození porostů důsledek krupobití
hnojení močovinou	možnost ekonomických a ekologických škod

Biotické	
Plodina	Patogen
kukuřice	zavíječ kukuřičný, bázlivec kukuřičný
ozimá pšenice	<i>Septoria tritici</i> , pravý stéblolam, kohoutci – modrý, černý
chmel	plíseň chmele, dřepčák chmelový
ovocné stromy	obaleči, květostas, strupovitost

Dostatečné množství vláhy v průběhu vegetačního období je nezbytným předpokladem kvalitního vývoje a následně nejlepší výnosové úrovně jakékoli zemědělské plodiny. **Obr. 26** níže nás uvede do povědomí o vzájemné souvislosti teplot a srážek na celkový výnos plodin, vzájemná korelace bude vysvětlena později.

Teplota vzduchu a srážky ve vegetačním období (duben-září)



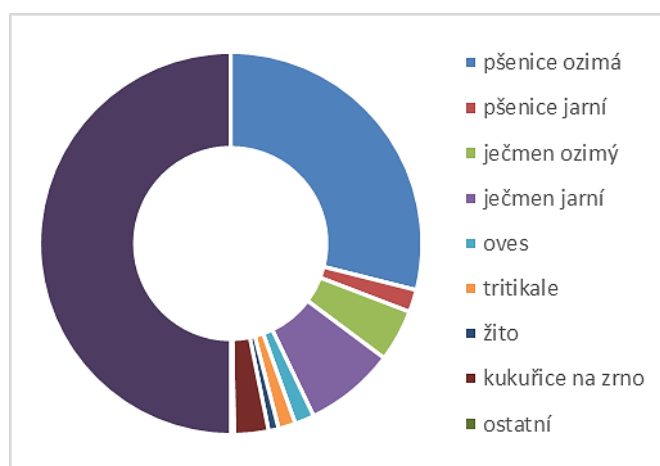
Obrázek 25: Přehled ročních teplot a srážkových sum v průběhu vegetačního období v letech 1971-2022 (ČHMÚ 2022)

3.2.1 Obilniny (*Poaceae*)

Obilniny patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*), označované také jako trávy. Jsou to jednoleté i víceleté byliny. Jsou pěstované především pro svá semena – zrna či obilky. Obilí, alias obiloviny nebo také cereálie slouží především pro lidskou výživu. Jejich obilky se zpracovávají buďto celá (rýže, žito, ječmen, oves), částečně nebo úplně odstraněna z obalu zrna (kroupy, bílá rýže), anebo úplně rozemletá na mouku. Zrno je výživově hodnotné s vysokým obsahem škrobu, minerálů, vitamínů, prospěšných olejů a vlákniny. Pro využití zelené píce se využívají celé rostliny. Nadzemní části rostlin zase na siláž (kukuřice setá). Jako sláma se zpracovává pšenice a ječmen. Anebo se z ní vyrábějí rohože, košíky, kartáče (čirok).

Obiloviny jsou nejrozšířenější skupinou pěstovaných plodin v ČR. Podíl obilovin se na celosvětové lidské výživě odhaduje v rozmezí 60–70 %. Od roku 2004 jakožto roku vstupu ČR do EU je zabezpečována regulace trhu s obilovinami prostřednictvím společné organizace trhu (SOT). Výzkumem obilnin se zabývá Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž (dříve Výzkumný ústav obilnářský) v Kroměříži.

V roce 2021 bylo obilninami oseto 1.334.331 ha sklizňové plochy v roce 2022 o něco více **viz Obr. 27.**



Obrázek 26: Osevní plochy obilnin (ČSÚ 2022)

Hlavní odlišností jarních a ozimých forem je délka jejich vývoje a délka vystavování se nepříznivým podmínkám. Ozimé formy mají delší vývoj, jsou vystaveny podzimním a zimním rizikům. Ozimy svůj citlivý iniciální vývoj prodělávají na podzim, proto jsou odolnější vůči rizikům v jarním a letním období. Pro pšenici je riziková teplota pšenice ozimé je od -15 do -20 °C (ječmene ozimého -12 až -15 °C). Jsou i více odolné vůči mrazům přicházejícím zjara, na které si již vybudovali určitou rezistenci. U ozimých plodin lze proto předpokládat větší výnosovou vyrovnanost. Jarní obiloviny prodělávají kompletní vývojový proces výhradně v jarních a letních měsících. I když jsou ozimy odolnější, rizikovým faktorům jsou vystavovány dvojnásobně oproti jarním formám. Když podmínky odpovídají průběhu počasí a dlouhodobému průměru, počet rostlin od zasetí do sklizně se u ozimů sníží asi na polovinu. U jarních obilnin je tato redukce jen asi o 25–30 %. Výhodou ozimů oproti jarním plodinám je také pomalejší růst v jarním období a zejména lepší zakořenění, které souvisí s dřívějším odnožováním. Jednotlivé fáze růstu obilnin můžeme vidět v **Tab. 2** (Agromanual 2021).

Z hlediska vývoje obilnin je nejdůležitější sledovat diferenciaci vzrostného vrcholu a jeho přechod z vegetativní do reprodukční fáze. Tato fáze je spojena s tvorbou dvojitých valů, kdy se na

vzrostném vrcholu přestávají vytvářet listy a začínají vznikat základy klásků. U pšenice je tato fáze dosahována obvykle v druhé polovině března (Agromanual 2021). V průběhu procesu tvorby výnosu je nutný kompletní vývoj všech orgánů rostliny, které zajišťují ukládání asimilačních látek do obilek. Jedná se o asimilační aparát, kterým jsou fotosyntetizující části rostliny (listy, klasy, stébla), kořenový systém (pro zajištění příjmu vody a živin z půdy) a tvorba sušiny (nadzemní biomasa). Kořenový systém je ovlivněn převážně teplotou a vlhkostí půdy, která je období od zasetí do metání nejvhodnější v teplotním rozmezí 9–16 °C.

Výnos zrna obilnin tvoří:

- 1) počet klasů na plošnou jednotku – počet rostlin, počet plodných stébel na jedné rostlině,
- 2) počet zrn v klasu – počet klásků, počet plodných kvítků,
- 3) hmotnost zrn – hmotnost 1000 zrn.

Zimovzdornost – schopnost odrůdy vyrovnat se se stresovými faktory v průběhu zimy, regenerovat a úspěšně pokračovat v růstu v jarním období – je důležitou stránkou stability výnosu (eAGRI 2020).

Tabulka 2: Růstová fáze obilnin s určením měsíců jednotlivých etap (eAGRI 2020)

Růstová fáze	Etapa organogeneze vzrostného vrcholu	
	ječmen jarní	pšenice ozimá
klíčení	-	-
vzcházení	I.	I.
první listy	I. – II.	I.
odnožování	II. – IV.	I. – IV.
sloupkování	IV. – VII.	IV. – VII.
naduření listové pochvy	VII.	VII.
metání	VIII. – IX.	VIII.
kvetení	IX.	IX.
mléčná zralost	X. – XI.	X. – XI.
vosková zralost	XI.	XI.
žlutá zralost	XI.	XI.
plná zralost	XII.	XII.

Porosty ozimů se zakládají při zkracujícím se dni a při nižších teplotách vzduchu. Při tvorbě a vývoji generativních orgánů je spojena potřeba dostatku vláhy, slunečního záření a teploty vzduchu. Ozimé obilniny se vyznačují delším obdobím tvorby základu klasu, což je z hlediska stability výnosu velmi důležité. V nejteplejší části roku probíhá závěrečná fáze dozrávání obilek. Na tvorbu výnosu bývá kritické období setí-vzcházení. Jedná se o období vlivu počasí na tvorbu výnosu. Vzcházení nejvíce ovlivňuje vláha, negativně působí jak její nedostatek, tak přebytek. Optimální vlhkost půdy pro klíčení a vzcházení je rozmezí 40–60 % plné vodní kapacity půdy. To vyžaduje srážkově bohaté období přibližně měsíc před setím až po samotného vzcházení. V průběhu setí až vzcházení by v ideálním případě mělo spadnout od 40 mm srážek v bramborářském výrobním typu až po 50–70 mm srážek v kukuřičném výrobním typu. Nízké teploty mají vliv na období vzcházení-setí. Pro klíčení je vhodná

teplota 1-2 °C, pro vzcházení 4-5°C. Čím delší je období setí-vzcházení, tím je finální vzcháživost horší. Celá fáze vzcházení obilnin trvá v podmínkách normální teploty vzduchu a srážkových úhrnů 7–9 dnů. Na vzcháživosti se však podílejí i jiné než meteorologické faktory (přípravenost půdy, skladba předplodin, agrotechnika, hustota výsevu apod.). Podmínky kvetení ovlivňují závěrečné počty zrn v klasu. Jedná se o fázi od metání po plné kvetení, které urychluje a tudíž i zkracuje vysoká teplota. Metání ovlivňuje čas, čím déle trvá, tím vyšší jsou výnosy. Vysoká teplota celkově zkracuje fenofázi obilnin, což má za následek menší počet založených zrn (MZe 2019).

Z hlediska hmotnosti obilek se optimální srážkové úhrny v období metání–plná zralost pohybují v rozmezí 130–140 mm v nižších polohách (kukuřičný a řepařský výrobní typ) a v rozmezí 190–210 mm v polohách vyšších (bramborářský výrobní typ). Optimální suma průměrných denních teplot vzduchu pro období metání–plná zralost se pro pšenici ozimou pohybuje od 1000 do 1300 °C a pro ječmen jarní od 1300 do 1800 °C. Při teplotní sumě větší než 2000 °C a srážkách nižších než 130 mm bývá hmotnost obilek výrazně menší. Nadměrné srážky v průběhu června mohou způsobit rozvoj listových a klasových chorob, které následně vedou ke snížení hmotnosti obilek.

Nižší teploty a dostatek vláhy vhodné pro delší funkčnost a životnost asimilačního aparátu se příznivě projevují ve fázi kvetení. Nedostatek vláhy a živin snižuje fotosyntézu a její intenzitu. Stárnutí listů urychluje vyšší teploty. Vysoká teplota rovněž zpomaluje ukládání škrobu v obilkách, a tím snižuje jejich hmotnost. Za optimální teplotu vzduchu pro tvorbu obilek se považuje interval 15–20 °C, musí být ovšem k dispozici dostatek vláhy a slunečního svitu. Vodní deficit se negativním způsobem projevuje téměř ve všech procesech ovlivňujících tvorbu obilek. Nepříznivý je ale i nadbytek vody, kvůli rozmáčení a následně případné hnilobě rostlin.

V závěrečných fázích vývoje obilnin, přibližně od vymetání až ke sklizni, působí negativně přívalové deště, krupobití a silný vítr. Tyto faktory mohou způsobit poléhání porostů, v případě krupobití i vytlučení zrn z klasu.

Při nepříznivých žňových podmínkách, za které se obecně považuje zejména vlhké počasí, dochází k opoždění sklizně, která pak probíhá po optimálním stupni zralosti. Častým jevem je lámání celých klasů, vydrolování zrn z klasů apod. Opožděná sklizeň se projevuje snížením výnosu a může dojít i k tzv. porůstání, kdy obilky naklíčí ještě v nesklizeném porostu (MZe 2020).

3.2.1.1 Dopady extrémního počasí na obilniny

Přímý mráz (holomrazy) – při vystavení rostlin holomrazům se tvoří v pletivech led a může dojít k jejich nevratnému poškození. Aktuální úroveň odolnosti rostlin závisí na stupni otužení, jejich vývojovém stadiu, vlhkosti půdy (sucho, přemokření), rychlosti poklesu teplot a dalších podmínkách prostředí. Důležitou roli v ochraně rostlin hrají agrotechnické zásahy – termín setí, hloubka setí, výživa, aplikace morfo-regulátorů atd. Ztráty vlivem holomrazů se dají významně snížit volbou vhodné odrůdy. Především u ozimé pšenice je rozpětí mrazuvzdornosti odrůd velmi široké. I minimální sněhová pokrývka 2-5 cm výrazně tepelně izoluje a rostliny před účinky mrazů chrání. Výsledky ze sklizňových ročníků 2002/2003 a 2011/2012 ukazují, že k vymrzání působením holomrazů dochází především v nižších polohách pod 400 m n. m. s nepravidelnou sněhovou pokrývkou, což charakterizuje především severní a střední Moravu, část západních Čech, Žatecko a Polabskou nížinu (Zimolka a Svoboda 2008).

Střídání teplot – při výrazném kolísání teplot a střídavém zamrznání a rozmrznání půdy dochází k vytahování rostlin, přetrhání kořenů a poškození nadzemních částí. Včasným zaválením porostů lze kontakt kořenů s půdou obnovit a úhyn snížit.

Vyčerpání kyslíku – v případě dlouhotrvající sněhové pokrývky nebo ledové vrstvy může docházet k úhynu rostlin vlivem prodýchání kyslíku a tvorbou toxických produktů anaerobního dýchání. Odrůdy reagující na délku dne, které v zimě nezávisle na průběhu teplot přestávají růst, jsou tolerantnější než ostatní odrůdy.

Zimní sucho – vlivem odpařování vody (sublimací, větrem, slunečním zářením a při zamrznutí půdy) trpí rostliny nedostatkem vláhy a usychají.

V neposlední řadě je ještě třeba zmínit patogenní organismy (Prášil et al. 2019).

3.2.1.2 Ječmen (*Hordeum vulgare*)

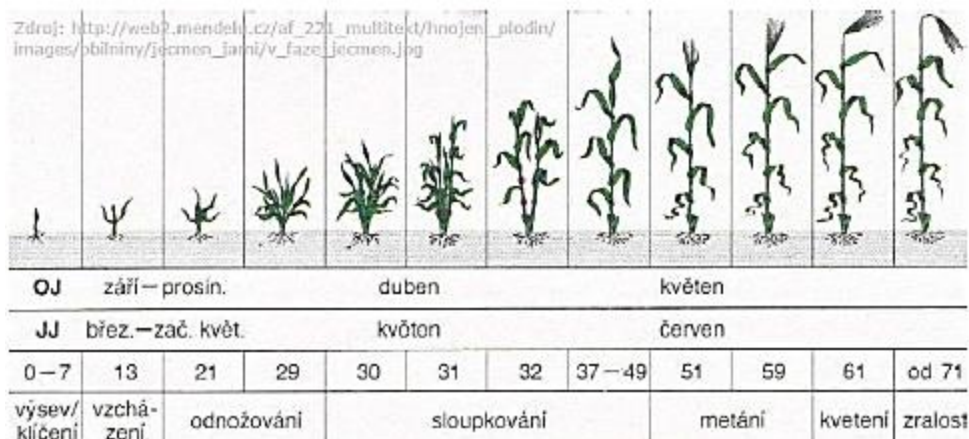
Ječmen je ozimá nebo jarní obilnina. Kvete v květnu a červnu. Požadavky na prostředí se u jarního ječmene odvíjejí od jednotlivých užitkových směrů (ječmen sladovnický-jarní, krmný nebo potravinářský). Pěstování není vhodné ve velmi suchých a teplých oblastech, kde může docházet k zasychání porostů. Nejteplejší části ČR spadající do kukuřičného výrobního typu nejsou pro ječmen jarní nejvhodnější vzhledem k častějšímu vláhovému deficitu, vůči němuž jsou jarní formy obilnin obecně méně odolné než ozimé. Ozimý ječmen nemá rád utuženou půdu a kyselou půdní reakci. Hodnota půdního pH by neměla být nižší než 5,8. Méně snáší úrodné půdy, půdy lehčí až hlinitopísčité. Je méně mrazuvzdorný a vyžaduje proto mírné zimy bez prudkých rozdílů teplot brzy na jaře. Lze pěstovat také v oblastech s menším úhrnem srážek (Kaplan et al. 2019).

Celková sklizeň ječmene v roce 2022 dle ČSÚ (2022) byla 1 749 tis. tun. V roce 2020 byla na úrovni 1 718,1 tis. tun, z toho 67,8 % ječmene jarního se zvýšením oproti roku 2019 o 7,0 %. Průměrný hektarový výnos ječmene ve sklizňovém roce 2022 dosáhl podle definitivní sklizně 5,61 t/ha, přičemž u ječmene jarního činil 5,09 t/ha. Jde tak o nárůst hektarového výnosu ječmene celkem oproti roku 2021 o 8,7 % (MZe 2019, 2020, 2021) viz **Tab. 3**. Výrazné výkyvy v pěstování ječmene nezaznamenáváme.

Tabulka 3: Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní ječmene mezi lety 2015-2022 (ČSÚ 2023)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
plocha (ha)	365 946	325 725	327 707	324 724	319 583	331 911	326 743	334 504
výnos (t/ha)	5,44	5,67	5,23	4,95	5,38	5,47	5,35	5,61
sklizeň (t)	1 991 415	1 845 254	1 712 279	1 606 034	1 718 061	1 816 182	1 749 134	1 877 363

Pro diagnostiku porostu v období růst je důležité znát fenologické fáze rostliny. **Obr. 28** níže ukazuje fenofázi ječmene jarního i ozimého včetně uvedení časového průběhu. Základní fenofáze mohou být extrémními vlivy počasí posunovány a celý růst obilovin tak může být ohrožen.



Obrázek 27: Fenologická stupnice ječmene (Zimolka & Svoboda 2008)

3.3.2.2 Dopady extrémního počasí na ječmen

Pro vzcházení jarních obilnin má značný význam zásoba zimní půdní vláhy, která je po zimním období mnohem vyšší než po období letním. Vyšší srážky ve fázi setí–vzcházení jsou nežádoucí, protože ji prodlužují a snižují vzcháživost. Lepší vzcháživosti jarních obilnin bývá dosaženo při pozdějším setí, kdy je již vyšší teplota vzduchu. Na optimální proces tvorby výnosu má ale průkazně pozitivní vliv včasné setí. Mezi dva nejčastější problémy v jarním období patří jednak dočasné návraty mrazů (především v případech bez sněhové pokrývky), se kterými souvisí přímá mrazová poškození již vegetujících rostlin a jednak jarní sucho, vyskytující se častěji v nižších polohách, než ve vyšších.

Se suchým obdobím jsou často spojeny vyšší teploty vzduchu, které napomáhají nepříznivému zkracování raných etap organogeneze s důsledky v podobě sníženého počtu produktivních stébel, ale i počtu založených květních základů. Výše uvedené negativní jarní jevy (nízké teploty, sucho) se mohou vykompenzovat v případě, že po suché úvodní části jara nastane chladný a vlhký květen. Na druhou stranu se mohou znásobit tehdy, když po výrazně chladném začátku jara nastane suchý a teplý květen. Takové situace často vedou k výrazně nižším výnosům (Žalud et al. 2020).

3.2.1.3 Pšenice (*Triticum aestivum*)

Pšenice je ozimá nebo jarní trsnatá tráva. Kvete v červnu, plodem je obilka. Její původ je na Blízkém východu. Je poměrně suchovzdorná, ale nesnáší přemokření. Vyhovují jí hlubší, hlinité až jílovitohlinité půdy s neutrální až slabě kyselou půdní reakcí v rozmezí 6,2 - 7,0 pH. V půdě vyžaduje dostatečnou zásobu živin (Faměra 1993). Vyhovují jí oblasti s průměrnou teplotou 14–17 °C v jarním a letním období s nízkými srážkami okolo 250–350 mm (Kaplan et al. 2019). Nejlepší vlastnosti pro pěstování pšenice mají půdní typy nivní, černozemě, šedozemě, rendziny a hnědozemě. Důležitou rolí půdy vhodnou pro pšenici hraje její vyšší vodní kapacita, která má napomáhat k překlenutí vegetačního období. Stanoviště ovlivňuje výnos pšenice z 25 %. Významněji se na objemu výnosu pšenice podílejí meteorologické podmínky. Nejprůzračnější pro pšenici jsou oblasti, kde je vyšší průměrná teplota v jarním a letním vegetačním období (14–17 °C), nižší úhrn srážek (250–350 mm) a vysoká hodnota úhrnného slunečního svitu během jarního a letního vegetačního období (Zimolka et al. 2005).

Pro své všestranné využití je pšenice velmi významnou plodinou. Podle způsobu využití ji rozdělujeme na pšenici pro pekárenské zpracování – nejvyšší kvalita, pekárenství – výroba oplatků, sušenek a krekrů, pro speciální využití – výroba škrobu a lihu a na pšenici pro výrobu těstovin. Poslední,

kteřá už nemusí splňovat tak přísné kvalitativní nároky, je pšenice krmná pro hospodářská zvířata (Zimolka et al. 2005).

Uvádí se, že výnos pšenice je přibližně z 25 % ovlivněn stanovištěm a ročníkem. Variabilitu výnosů přitom více zvyšuje průběh počasí ročníku než pedologická charakteristika stanoviště (půdní typ, půdní druh). Pro pšenici ozimou je přesto příznačná vyšší náročnost na půdní podmínky. Jako nejvýhodnější se jeví vyžrálejší, hlubší, hlinité až jílovitohlinité půdy s dostatkem bází a neutrální až slabě kyselou reakcí (pH 6,2–7,0). Důležitá je i vyšší vodní kapacita půd eliminující dopady sušších period. Mezi půdní typy s nejlepšími vlastnostmi pro pěstování ozimé pšenice patří nivní půdy, černozemě, šedozezemě, černozemě s černicemi, rendziny a hnědozezemě (Zimolka et al. 2005).

3.2.1.4 Pšenice v Čechách

V měřítku ČR i v měřítku celosvětovém je pšenice nejčastěji pěstovanou obilninou na orné půdě. Převažující formou je pšenice ozimá, která dlouhodobě tvoří přibližně 90 % osevních ploch pšenice. Zbylá část připadá na jarní pšenici. Ještě menší plochu zaujímá v ČR pšenice tvrdá a špalda. Pšenice má na českém trhu s obilovinami zcela dominantní postavení, tvoří 63 % nabídky všech obilovin. Pšenice ozimá je naší nejrozšířenější pěstovanou plodinou. Důvody určité stability pěstování spočívají především ve výnosové jistotě a možnosti exportu (Zimolka et al. 2005).

Pro pěstování pšenice s nejvyšší kvalitou, tzn. potravinářské, je vhodných asi 21% orné půdy v ČR. Mezi ně patří především nížiny v severních a středních Čechách a na jižní Moravě. Krmná pšenice, známá nižší kvalitou, prosperuje v pahorkatinách v západních a jižních Čechách a na severní Moravě (Götz 1995).

Dle ČSÚ (2020) dosáhla produkce pšenice v ČR ze sklizně v roce 2019 množství 4 812,2 tis. tun. Z toho 98 % pšenice ozimé a 2% pšenice jarní. Celková výroba pšenice vzrostla oproti roku 2018 o 8,9 %. Osevní plocha pšenice dosáhla výměry 839,4 tis. ha. Výnos pšenice celkem byl pro rok 2019 ve výši 5,73 t/ha, o 6,3 % více než v roce 2018.

O rok později byla produkce pšenice v ČR v množství 4 902,5 tis. tun. Z toho 97,9 % pšenice ozimé a 2,1 % pšenice jarní. Celková výroba pšenice vzrostla oproti roku 2019 o 1,9 %. Osevní plocha pšenice dosáhla výměry 798,6 tis. ha. Jedná se o pokles 4,9 % oproti roku 2019. Tento pokles osevních ploch způsobila jak pšenice ozimá, tak pšenice jarní. Průměrný výnos ve výši 6,14 t/ha narostl o 7,2 %. Zvýšení výnosu u ozimé pšenice byl způsoben vlivem chladného měsíce května, v době, kdy se nalévá zrno a rozhoduje se o objemové hmotnosti zrna (ČSÚ (2021)). Hodnoty pro rok 2021, dle ČSÚ (2022) můžeme vidět v **Tab. 4** níže. Je zde patrný lehký nárůst výnosu a sklizně v tunách, ale zato snížení plochy v ha.

Tabulka 4: Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní pšenice mezi lety 2015-2022 (ČSÚ 2023)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
plocha (ha)	829 820	839 710	832 062	819 690	839 446	798 583	784 784	854 434
výnos (t/ha)	6,36	6,50	5,67	5,39	5,73	6,14	6,32	6,07
sklizeň (t)	5 274 272	5 454 663	4 718 205	4 417 841	4 812 163	4 902 414	4 960 925	5 188 687

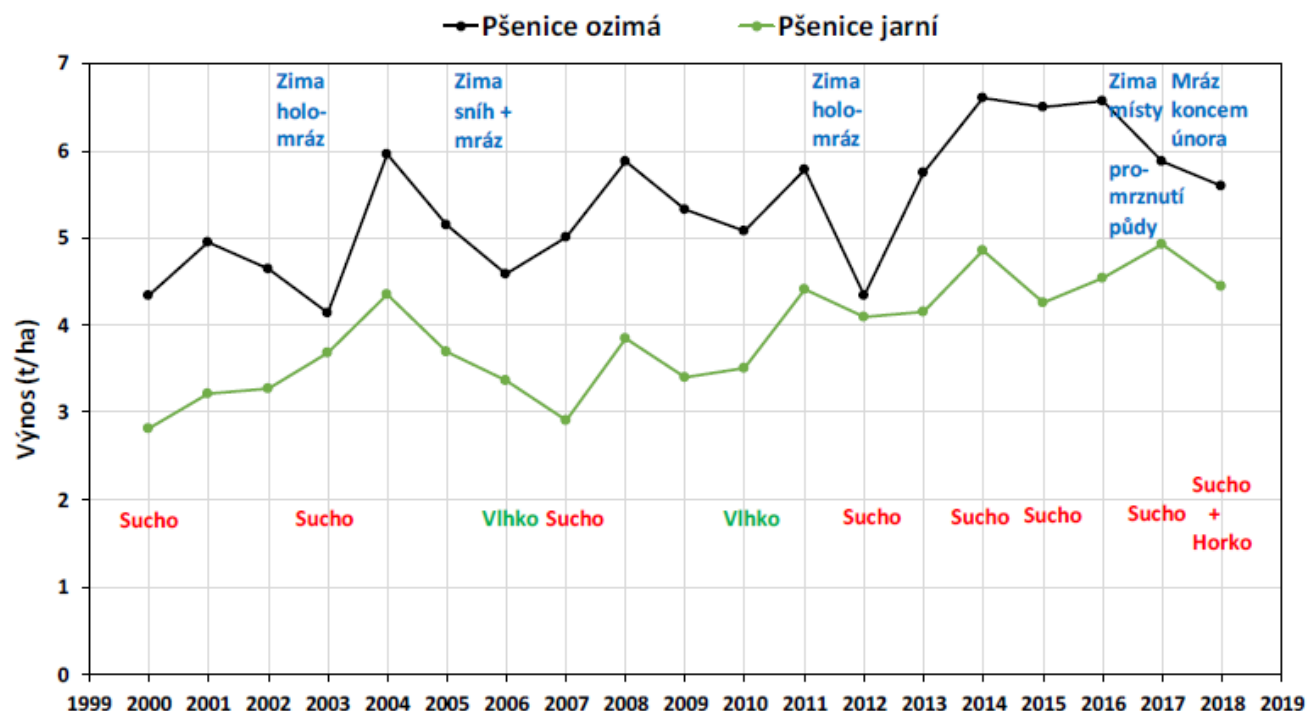
3.2.1.5 Dopady extrémního počasí na pšenici

Pšenice podléhá převážně vlivu meteorologických faktorů týkajících se jejího přezimování. Jsou to především vyšší teploty a vlhkosti v bezprostředním okolí rostliny, které mají za následek nedostatečné otužení porostů a vedou ke ztrátě jejich odolnosti (Prášil et al. 2018). Vývoj ozimých plodin je kromě jarovizace závislý i na délce dne. Rychle se vyvíjející reprodukční orgány pšenice tak bývají poškozeny ihned zjara, protože vlivem nepřehledného počasí vstoupí do růstových fází ještě před pozdějším výskytem mrazíků (Prášil et al. 2021). V **Tab. 5** můžeme vidět možné poškození pšenice v jednotlivých růstových fázích.

Tabulka 5: Růstové fáze pšenice, jejich citlivost na mrazy a projevy poškození mrazem (Prášil et al. 2021)

Růstová fáze BBCH	Odnožování - jaro	Sloupkování	Naduřování listové pochvy	Metání	Kvetení	Po odkvětu
Přibližná teplota	-11 °C	-4 °C	-2 °C	-1 °C	0 °C	-2 °C
Projevy poškození	Žloutnutí listů, spálení špičky listů	Vymrznutí vrcholů, žloutnutí až hnědnutí listů, ohnutí stonku	Sterilita kvítků, zkroucení klasů v listové pochvě, poškození stonku, změna barvy listů	Sterilita kvítků, zbělení klásků a osin, poškození dolní části stébla, změny barvy listů	Sterilita kvítků, zbělení klásků a osin, poškození dolní části stébla, změny barvy listů	Zmenšení, scvrknutí a odbarvení zrn, snížení klíčivosti
Dopad na výnos	nizký až střední	střední až vysoký	střední až vysoký	vysoké	vysoké	nizký až střední

Na **Obr. 29** vidíme průměrné výnosy ozimé a jarní pšenice porovnané s mírou negativního dopadu zimy na konečný výnos obou druhů pšenic (Prášil & Martinek, 2016). Můžeme vidět, že celkový trend zvyšování výnosů pšenice byl v tomto století několikrát pozastaven silným poklesem. V letech 2003, 2006 a 2012, kterým předcházela mrazivá zima spojená s poškozením nebo vymrznutím pšenice se týkaly pšenice ozimé. V letech 2007, 2015 a 2018 se na jaře vyskytovaly silné epizody u jarní pšenice (Prášil et al. 2019).



Obrázek 28: Porovnání výnosů obou forem pšenice a výskyt hlavních extrémů spojovaných v daném roce s vegetací a výnosem pšenice (Prášil et al. 2019).

3.2.2 Kukuřice (*Zea mays*)

Kukuřice je široce pěstovaná rostlina hrající nejdůležitější roli v potravinářství, jako krmivo hospodářských zvířat nebo jako biopalivo. Jako polní plodina je pěstovaná pouze kukuřice setá pravá (*Zea mays subsp. mays*). V botanickém systému se řadí do čeledi lipnicovitých a skupiny kukuřicovitých (Zimolka & Svoboda 2008). Může dorůst do výšky až 2,5 m. Mezi trávy ji řadí Skládanka et al. (2014) a uvádí, že se kukuřice svým způsobem pěstování blíží spíše k okopaninám. Hnojí se organicky a pěstování probíhá v širokých řádcích. Je řazena mezi rostliny typu C4, pro které je typická vyšší rychlost a účinnost fotosyntézy. Jedná se o rostlinu krátkého dne, tudíž s prodlužující se délkou dne urychluje svůj vývoj a roste intenzivněji (KWS 2012). Kukuřice je teplomilnou rostlinou, která má specifické požadavky na množství srážek, teplotu a intenzitu slunečního svitu. U pěstované kukuřice seté pravé je nejdůležitější ztloustlý klas, někdy nazývaný palice. Ten je nejčastěji 2–5 cm silný, ale může dosáhnout dokonce až 10 cm. Plodem kukuřice je obilka. Skládá se z mnoha řad obilek, kdy v každém klasu je jich od 60 po více než 1000 kusů. Vysoké nároky má kukuřice na vláhu. Transpirační koeficient je 256. Nadbytek vláhy a nedostatek vzduchu v půdě se projeví na barvě listů (světlá barva) a na tvorbě zakrnělých palic (Zimolka & Svoboda 2008).

Kukuřice je plodinou náročnou na teplo a vlhko. Také má vyšší nároky na světlo a vodu. Podmínky vhodné pro její pěstování jsou v teplejších oblastech s hlubokými a propustnými půdami. Kukuřice je citlivá na kolísání teplot v průběhu vegetačního období. Nejlepší podmínky pro pěstování kukuřice jsou v nížinách, kde jsou vysoké teploty a dostatek srážek. Ke svému pěstování vyžaduje dobře odvodněnou půdu s vysokým obsahem živin. Kukuřice se v ČR sází přibližně od dubna do května, kvete od července do října a sklízí se od srpna do října. (Kaplan et al. 2019). Jedná se původně o tropickou plodinu, která ale byla úspěšně adaptovaná na podmínky ČR, tedy do o poznání chladnějšího mírného pásu (Prokeš 2018).

3.2.2.1 Pěstování kukuřice v Čechách

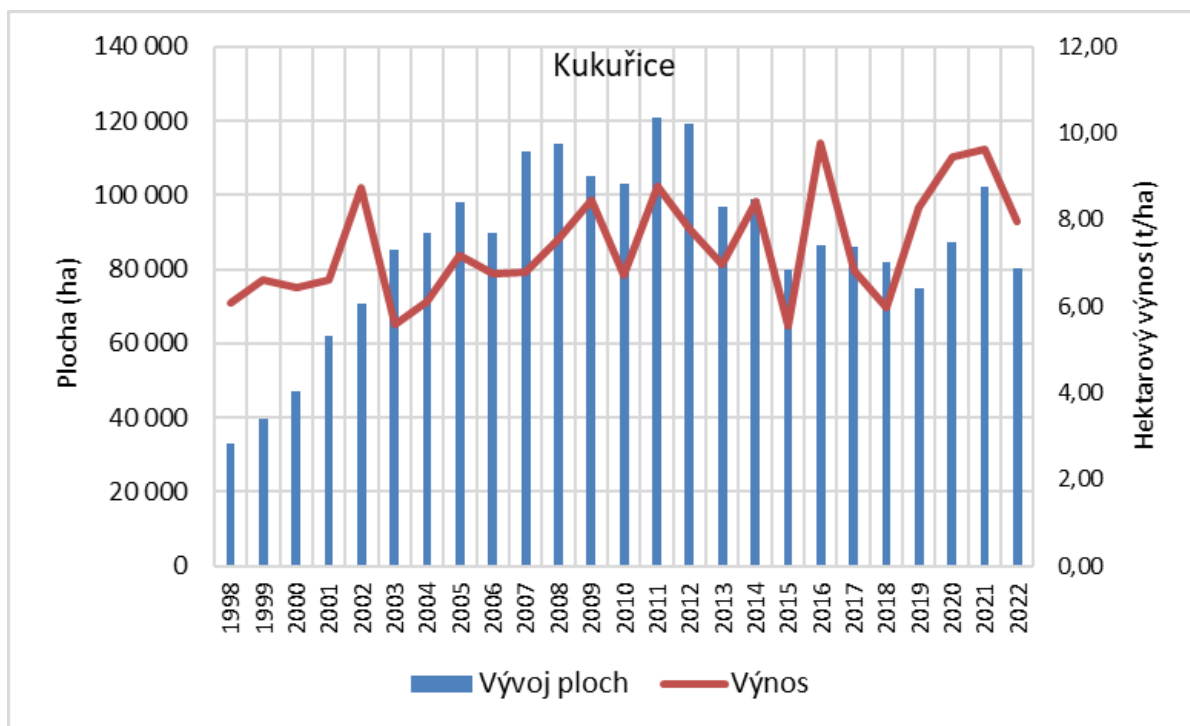
Česká kukuřice se vyváží do mnoha zemí po celém světě. ČR se stala významným producentem a vývozcem kukuřice na zrno. V posledních letech došlo v ČR ke značným změnám v oblasti pěstování kukuřice na zrno, což umožnilo přechod z role silného dovozce kukuřice na pozici jejího vývozce. V současné době se v ČR produkuje více kukuřice, než se zde spotřebuje.

Využití kukuřičného zrna je velmi široké, a to od krmiv, přes škrobárenství, výrobu bioetanolu až po potravinářský průmysl (výroba krupice, brambůrků, sušenek, cornflakes, bílého pečiva, whisky, coca-coly, bonbónů a podobně). V průmyslu je dále využívána ve farmacii, papírenství, při výrobě barev a laků, v gumárenském průmyslu, kosmetice, nebo při výrobě pesticidů).

Celkový výnos kukuřice se v ČR postupně zvyšoval od roku 1961 do roku 2010. Po padesáti letech, tedy kolem roku 2010, celkový výnos kukuřice začal v reakci na tendenci poklesu srážek, nárůstu teplot a jejich vzájemné korelaci klesat. Výrazné je to zejména v jejím vegetačním období (květen až září) nebo v období léta (červenec a srpen) (Maitah & Malec 2021).

Pozorováním vývoje ploch kukuřice pěstované na zrno v České republice můžeme vidět postupný růst od roku 1998 do roku 2005. V tomto období plocha pro pěstování kukuřice vzrostla z 32,9 tis. ha na 98 tis. ha. V roce 2006 došlo ke snížení ploch o 8,2 tis. ha na 89,8 tis. ha. V pozdějších dvouletých obdobích se střídalo období růstu a poklesu **viz Obr. 30**. Významnými roky byly 2015 a 2018, kdy kukuřici postihlo výrazné sucho, což mělo za následek výrazné snížení i hektarového

výnosu. V těchto letech byla zaznamenána jedna z nejvyšších naměřených průměrných teplot vzduchu a jedna z nejnižších naměřených hodnot průměrných ročních srážek. Konkrétně pro rok 2015 se jednalo o 15,2 °C se srážkami 283,8 mm za rok. Pro rok 2015 to bylo 16,6 °C s 318,2 mm naměřených srážek viz **Obr.31 a 32**. Důsledek sucha se promítl do 30 % poklesu výnosu kukuřice oproti roku 2014. Rok 2016 ale deficit napravil, a dokonce zaznamenal i nejvyšší výnos v měřeném období, který byl způsobený teplým květnem bez extrémních výkyvů v počasí viz **Tab. 6** (MZe 2019).

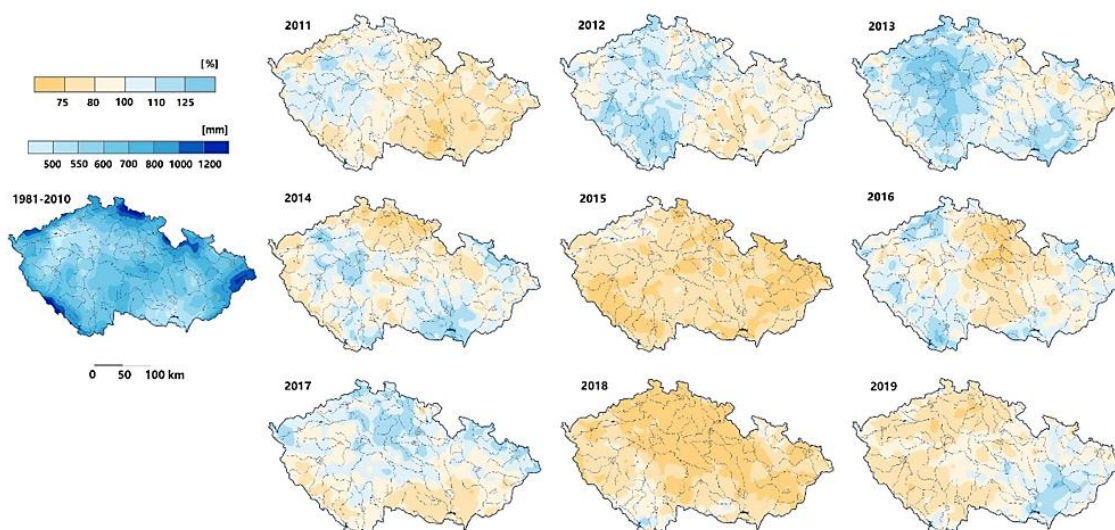


Obrázek 29: Vývoj ploch a výnosů kukuřice pěstované na zrno (ČSÚ 2023)

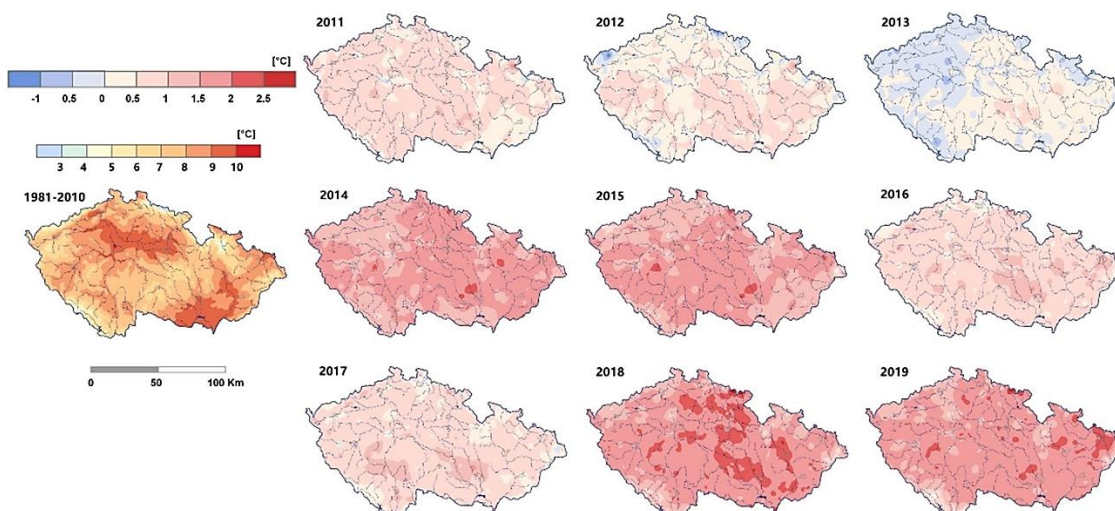
Podle údajů ČSÚ (2023) se sklizeň roku 2018 propadla o 20 % kvůli výrazným obdobím sucha v červnu roku 2018. Následující rok 2019 ale již zaznamenal růst s výnosem 8,29 t/ha kukuřice na zrno, což znamenalo opětovné navýšení o 38,6 %. Zajímavostí na tomto ročníku bylo, že ačkoli sklizeň 2019 vzrostla, osevni plocha oproti roku 2018 poklesla o 6,3 tis. ha (tj. 7,6 %), což přehledně znázorňuje **Tab.6** níže. V roce 2020 nebyla taková období sucha v průběhu května a června jako v předešlých letech, tudíž byl zaznamenán výrazný nárůst plochy, výnosu i sklizně. Sklizeň se zde dostala až na hranici téměř 825,5 tis. tun. Přestože byl rok 2020 silným ročníkem, v roce 2021 se dosáhlo ještě vyšších čísel v podobě 988 tis. tun sklizně a 102,4 tis. ha plochy. Rok 2021 se tak zařadil na pozici 2. nejvyšší sklizně od roku 2000, což můžeme názorně vidět na předešlém obrázku. Prostřednictvím předchozí sumarizace dat můžeme potvrdit trend nebývalého rozmachu pěstování kukuřice na zrno v České republice a její soběstačnosti v tomto odvětví (MZe 2019, 2020).

Tabulka 6: Definitivní vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní v ČR pro kukuřici na zmo mezi lety 2014-2022 (ČSÚ 2023)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
plocha (ha)	98 749	79 972	86 407	85 995	81 851	74 827	87 231	102 438	80 453
hektarový výnos (t/ha)	8,43	5,54	9,79	6,84	5,98	8,29	9,46	9,65	7,95
sklizeň (t)	832 235	442 709	845 765	588 105	489 154	620 261	825 499	988 038	639 467



Obrázek 30: Porovnání ročních průměrných srážek 2011-2019 (Intersucho 2022)



Obrázek 31: Porovnání ročních průměrných teplot 2011-2019 (Intersucho 2022)

3.2.2.2 Dopady extrémního počasí na kukuřici

Kukuřice stejně jako všechny ostatní zde prezentované zemědělské plodiny podléhá vlivům změn teplot a množství či rozložení srážek ovlivňujících její výnos a kvalitu. Obecně je změna klimatu ovlivňována rostoucí koncentrací skleníkových plynů jako je CO₂. Nárůst tohoto plynu má na kukuřici a její produkci přímý i nepřímý vliv. Přímý účinek, nazývaný také efekt hnojení CO₂, způsobuje, že zvýšené množství CO₂ může zvýšit fotosyntézu a účinnost využití vody rostlinou, čímž může zvýšit růst kukuřice až o 14 % při zdvojnásobení okolního CO₂. Nepřímý účinek, nazývaný také povětrnostní vliv, funguje prostřednictvím slunečního záření, srážek a teploty ovlivňující výnos kukuřice. Například efekt, kdy s rostoucí teplotou výnosy kukuřice běžně klesají kvůli zkrácení fenologické fáze růstu rostliny (Dhakhwa et al. 1997; Poorter et al. 1993).

Kukuřice preferuje mírnější klima a teploty v rozmezí 20-25 °C. Při vysokých teplotách nad 30 °C dochází ke snížení jejího růstu. Jako původní tropická plodina zvládá periody sucha lépe a jako plodina typu C4 dokáže velmi efektivně využívat vodu. Díky tomuto dobrému hospodaření překonává dlouhodobější periody sucha jednodušeji než ostatní plodiny. Její asimilační aparát zůstává zelený a je schopný i další vegetace. Avšak při nevhodném pěstování se kukuřice může stát silně erozní plodinou. Proto se v posledních letech věnovalo obrovské úsilí nastavení správných pravidel pro ochranu půdy. Známé jsou pod souhrnným označením DZES 5. Úsilí vedlo k vývoji nových technologií zpracování půdy jako striptill, efektivní využití minimalizace nebo dokonce no-till. Jedná se o technologie chránící půdu proti vysychání a zadržující vodu v krajině. Odpadají tak veškeré obsevy a prosevy na daném stanovišti, a tím v mnohém zjednodušují systém hospodaření. Jsou technicky i technologicky velmi dobře zvládnuté a výnosově jsou srovnatelné s klasickými technologiemi využívajícími orbu (Prokeš 2018).

Hlavním principem těchto technologií je využití organické hmoty jako jsou posklizňové zbytky předplodin nebo biomasa meziplodin na povrchu půdy. Hmota částečně pokrývající povrch půdy tak snižuje povrchový odtok a smyv zeminy. Zároveň lze využít i již zapojený porost na povrchu půdy. U tohoto půdo-ochranného zpracování půdy jde v podstatě o redukované obdělávání půdy zmenšováním počtu pracovních operací a jejich slučováním dohromady. Postupy zpracování půdy lze obecně rozdělit podle intenzity, hloubky a způsobu kypření půdy. V současné době jsou dvě základní technologie zpracování půdy, technologie s orbou (konvenční, tradiční zpracování) a technologie bez orby (minimalizační) (Novák & Mašek 2020).

3.2.3 Chmel (*Humulus lupulus*)

Pěstování této rostliny z čeledi konopovitých (*Cannabaceae*) a s tím spojené pivovarnictví, má již celosvětovou dlouholetou tradici. Jedná se o vytrvalou liánovitou rostlinu. Stonek chmele vytváří pravotočivou liánu, která obvykle dosahuje výšky 3-5 metrů. Při dobrých klimatických podmínkách může dorůst až do výšky deseti metrů. Většina hospodářských odrůd chmele se pěstuje jako ozim nebo jarní, což znamená, že se každý rok sází nová rostlina, která se sklídí po jednom vegetačním období. Z praktického hlediska se tedy chmel může jevit jako rostlina jednoletá. Existují dva druhy chmele. Divoký chmel, využívaný jako okrasná rostlina nebo krmivo pro zvířata, a druhý typ, hospodářsky využívaný jako významná komerční odrůda chmele. Květy chmele (šišky) obsahují důležité aromatické látky, pryskyřice a trísloviny. Využití nacházejí zejména v pivovarnictví (Rybáček 1991). Chmel má širokou škálu sekundárních metabolitů s funkčními vlastnostmi působícími na záněty nebo jako antioxidanty. Jsou to hořké kyseliny, silice a flavonoidy s využitím v souvislosti s nemocemi ve vztahu k životnímu stylu (srdeční onemocnění, diabetes, ateroskleróza atd.) (Sbardella et al. 2018).

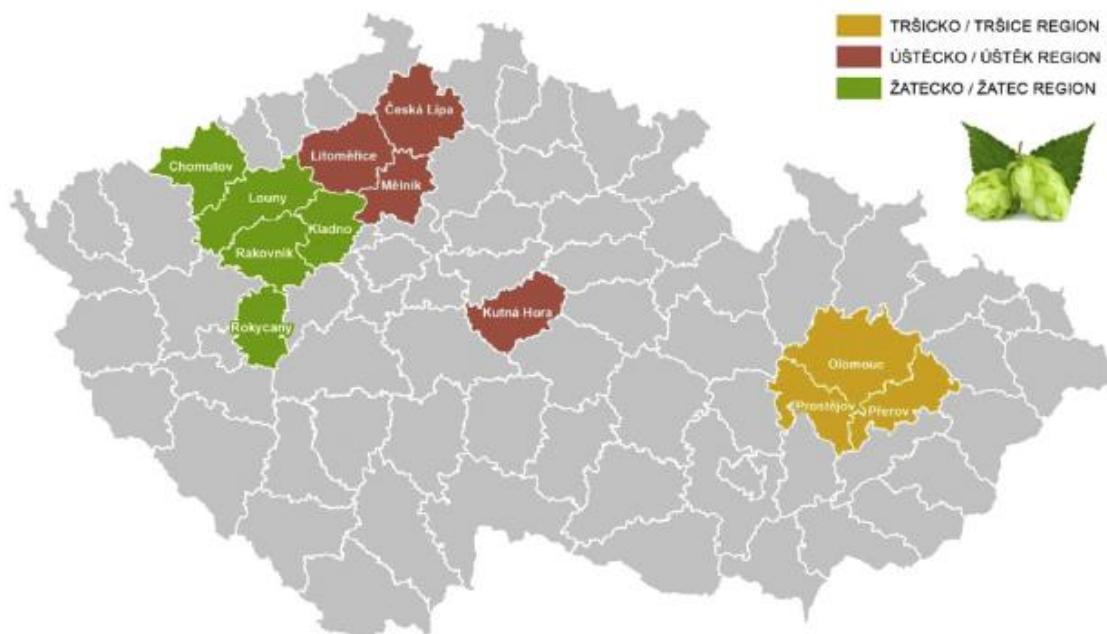
Chmel otáčivý roste v teplejší oblastech do maximální nadmořské výšky 700 metrů. Jedná se o původní rostlinu mírného pásu bezmála celé Eurasie. Chmelu vyhovují hlinité až jílovitohlinité půdy s dostatečnou vrstvou ornice a nižší hladinou spodní vody. Optimální půdní reakce je slabě kyselá až neutrální. V našich podmínkách je chmel odolný vůči vymrzání, ale také je citlivý na květnové mrazíky. Ty mohou zastavit růst rostliny nebo spálit mladé listy. Kvůli svému mohutnému vysokému vzrůstu má větší nároky na vláhu, a to hlavně v červenci a srpnu, kdy se rozhoduje o množství a kvalitě hlávek (Slavík & Štěpánková 2004).

3.2.3.1 Chmelařství v Čechách

Chmel jako tradiční česká plodina vhodná pro výrobu piva je zařazená do českého dědictví. Tradice pěstování chmele dosahuje až do dob středověku. ČR zaujímá 2. místo mezi deseti zeměmi Evropské unie pěstujících chmel. A to jak v podílu na produkční ploše – 16,4 % EU28, tak v produkci – 11,1 % EU28. ČR se specializuje na pěstování tradiční genetické skupiny velmi jemného a aromatického chmele – žateckého chmele, používaného v pivovarnictví po celém světě (Vent et al. 1963). Jedná se o odrůdu Saaz (cizojazyčně v překladu Žatec). Tento poloraný Žatecký chmel se vyznačuje nízkým obsahem myrcenu a vyváženým obsahem alfa a beta kyselin (Možný et al. 2009), které pivu dodávají nahořklou chuť. Žatecký poloraný červeňák se pěstuje v několika klonech v ozdravené i neozdravené formě. Jednotlivé klony a formy se svojí skladbou chmelových pryskyřic jako celku moc neliší, rozdílnost bývá částečně jen v obsahu D-hořkých kyselin. Toto pravidlo platí jak u chmelových pryskyřic, tak u chmelových silic. Vlastnosti žateckého červeňáku byly využity i pro šlechtění nových českých odrůd s hybridním původem. U odrůd Bor, Sládek, Premiant, Agnus a dalších proto v jejich genetickém základu nalezneme v různém poměru tradiční českou odrůdu. České odrůdy chmele lze rozdělit na aromatické chmele (např. Žatecký poloraný červeňák, Sládek, Harmonie, Bor, Premiant a Kazbek) a odrůdy s vyšším obsahem chmelových pryskyřic (např. Agnus, Rubín a Vital). V roce 2019 byly registrovány odrůdy aromatického chmele pod názvy Saaz Brilliant, Saaz Comfort, Saaz Shine a Mimosa nebo také první české odrůdy chmele na nízké konstrukce – Country, Jazz a Blues. V roce 2021 byla registrována odrůda Most. V roce 2022 byly úspěšně registrovány odrůdy Ceres, Eris, Juno, Jupiter, Pluto a Saturn. Programy šlechtění se zaměřují na zlepšení agronomických vlastností nebo zavedení nových vlastností do stávajících odrůd. Je zde patrná snaha vytvořit chmel s vysokou

odolností vůči biotickým a abiotickým stresorům, se sníženou růstovou kapacitou až na "zakrslé" odrůdy, spolu se zlepšením výnosů a organoleptických vlastností produkce (Hampton et al. 2001) Odrůda KAZBEK je v původu ruský planý chmel a dá se považovat za velmi odolnou. Odrůda PREMIANT je výkonná a stabilní. Odrůda VITAL se navíc využívá při výrobě léčiv a doplňků stravy (MZe 2022; Nesvadba et al. 2022).

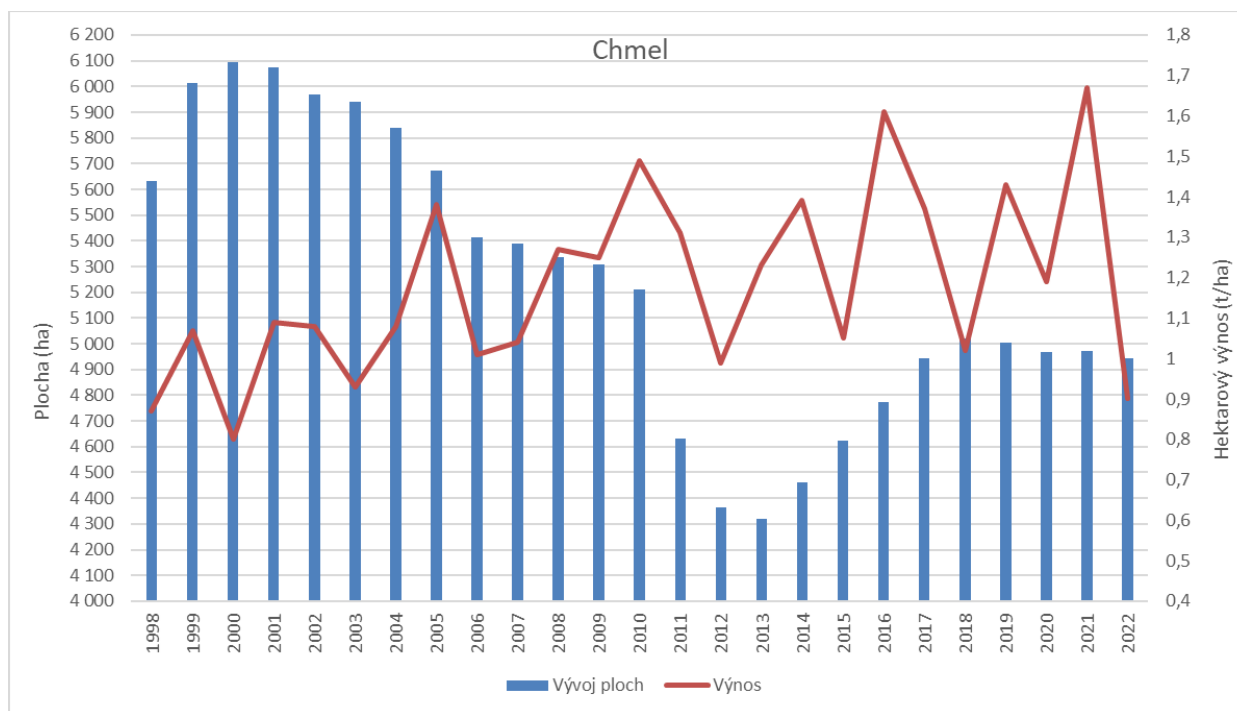
V Česku se vypěstuje skoro 6 tis. tun chmele za rok. Z toho většinu, cca 80 %, tvoří poloraný chmel Žatecký červeňák, který se pyšní ochrannou známkou díky své světové unikátnosti. Na základě Nařízení Komise č. 503/2007 ze dne 8. května 2007 bylo označení ŽATECKÝ CHMEL zapsáno do Rejstříku chráněných označení původu a chráněných zeměpisných označení. V rámci Evropské Unie se jedná o první udělené označení týkající se chmele a o jedno z prvních označení udělené českému zemědělskému nebo potravinářskému výrobku. Na **Obr. 33** níže vidíme rozložení 3 oblastí pěstování chmele v ČR – Úštěk, Tršicko a nejstarší Žatecko. Chmel patří mezi položky agrárního zahraničního obchodu, u kterých má ČR dlouhodobě kladné saldo (MZe 2022).



Obrázek 32 Tři hlavní oblasti pěstování chmele (MZe 2022).

Rok **2012** zaznamenal jak úpadek výnosů, tak ploch. Pěstitelská plocha činila 4 366 ha, výnos činil 0,99 t/ha a sklídilo se celkem 4 338,1 t. Průměrný meziroční pokles výnosu o 24,4 % byl dán holomrazou během února, hnilobou rostlin v období května, které zasáhlo přes 800 ha chmelnic v ČR s intenzitou poškození 30 až 60 % rostlin a také vysoké teploty z července a srpna, které zase způsobily zasychání již kvetoucího chmele a později i jeho zastavení v růstu. Ročník **2013** byl zase nejmenší v počtu pěstované plochy. V tomto roce byly zaznamenány vydatné deště v průběhu května, které na chmelnicích způsobily povodně či záplavy a chmelaři se tak potýkali jejím odčerpáním. Přesto ale výnos činil 1,23 t/ha, což znamenalo meziroční zvýšení o 36,6 %. V roce **2014** byly zrušeny plochy málo výnosné, zamokřené a s přestárlými porosty. Sklizňová plocha chmelnic tak po 14 letech zaznamenala jeden z nejvyšších meziročních nárůstů o 430 ha. Tím se opět zvýšil i průměrný výnos o 13,0 %. Nepříznivé klimatické podmínky v roce **2015** negativně ovlivnily sklizeň i produkci chmele

v ČR i ve světě. Tento rok jako první v následující řadě let zaznamenal mimořádně teplé léto (červenec, srpen) s 30 tropickými dny, s nedostatečnými srážkami nebo přivalovými dešti a velkým výparem vody kvůli vysokým teplotám. V červenci byl úhrn srážek max 7,2 mm. Oproti tomu následující rok **2016** zaznamenal ve sklizni, produkci i plochách pozitivní nárůst. Závěr vegetačního období 2016 byl pro vyžívání chmele optimální, a tak sklizeň navýšila o 59,2 % na své maximum. V roce **2017** se stále dařilo, vzrostly plochy chmelnic o 170 ha. Průměrný výnos činil 1,37 t/ha, což znamenalo lehký propad oproti roku 2016, ale srovnatelný výsledek s roky 2013 nebo 2014. Ročník **2018** se projevil jako jeden z nejnižších, jak v celkové produkci 5 126,42 t, tak průměrným výnosem 1,02 t/ha. V porovnání s rokem 2017 došlo ke snížení o 24,58 %. Tento rok jasně ukázal a potvrdil nečekané výkyvy teplot a změn klimatu, které se jasně v posledních letech prohlubují. Vlivem nedostatku vody a nestálosti počasí v posledních deseti letech produkce chmele každoročně výrazně kolísá. Meziroční výkyvy opakovaně přesahují pětinu produkce, což znamená přibližně tisíc tun **viz Obr. 34**. Už jen příklad u roku 2012, kdy české chmelnice vyprodukovaly jen 4,3 tisíce tun sklizně s porovnáním o čtyři roky později s rokem 2016. Zde se produkce dostala přes 7,7 tisíce tun, plocha chmelnic se změnila jen o 8,5 %, ale sklizeň narostla o 44 % (MZe 2020, 2021, 2022).



Obrázek 33: Vývoj ploch a výnosů chmele (ČSÚ 2023)

Dle údajů ČSÚ (2023) v roce 2019 činila výměra chmelnic v České republice 0,2 % obhospodařované zemědělské půdy. 5 tis. ha zaujímaly plodící chmelnice a sklizeň dosáhla 7,1 tis. tun. V roce 2020 se sklídilo necelých 6 tis. tun chmele. Výnos činil 1 t/ha ze zmenšené plochy plodících chmelnic 4,9 tis. ha oproti roku 2019. V tomto roce se ne ani tolik na úrodě jako na ekonomické hodnotě chmele projevila ztráta způsobená pozastavením sektoru pivovarnictví v souvislosti s Vyhlášením nouzového stavu na začátku roku 2020 z důvodu pandemie COVID-19. Ekonomické ztráty v dodavatelsko-odběratelském řetězci pivovarnického průmyslu dosáhly v období březen až květen částku 4,7 mld. Kč. Rok 2021 byl v několikaleté historii jeden z nejnižších s hodnotou výnosu necelých 1,7 t/ha. Přitom se celková plocha produkčních chmelnic zvýšila jen minimálně a nedosahovala ani plochy využitě

v předešlých letech 2018 nebo 2019. Sklizeň v roce 2021 na území 4,9 tis. ha dosáhla 8,3 tis. tun, tedy o 3 tis. tun více oproti roku 2020. V tomto roce byla zaznamenána nejvyšší sklizeň od roku 2017. Zato rok 2022 byl oproti předešlým letům velmi podprůměrný. Při stejné ploše chmelnic 4,9 tis. ha byl zaznamenán hektarový výnos pouhých 0,9 t/ha, který se stal nejnižším hektarovým výnosem od roku 2000 a sklizeň dosahující téměř 4,5 tis. tun, tj. nejnižší od roku 2012, což znamená skoro poloviční hodnotu (46,39 %) oproti předešlému roku 2021 (MZe 2020, 2021, 2022) viz Tab 7.

Tabulka 7: Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní v ČR pro chmel mezi lety 2017-2022 (ČSÚ 2023)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
plocha produkčních chmelnic (ha)	4 460	4 622	4 775	4 945	5 020	5 003	4 966	4 971	4 943
hektarový výnos (t/ha)	1,39	1,05	1,61	1,37	1,02	1,43	1,19	1,67	0,9
sklizeň (t)	6 202	4 843	7 712	6 797	5 126	7 145	5 925	8 306	4 452

3.2.3.2 Dopady extrémního počasí na chmel

V posledních letech výrazně ovlivňuje objem sklizně nedostatek vláhy nebo naopak prudké lokální srážky. Chmel je velmi citlivý na změnu klimatu. Při zvýšené teplotě přichází fenologická fáze dříve a vegetační fáze se zkracuje. To značí budoucí pokles výnosů a kyselin, které jsou hlavním determinantem kvality daného ročníku úrody (Možný et al. 2021). Podle mezinárodní publikace o českém chmelařství, kterou vydalo MZe ve spolupráci se Svazem pěstitelů chmele ČR v roce 2021, mají extrémní výkyvy teplot, přesahující přes 30 °C přes den a v noci dosahujících bodu mrazu, kromě nižší úrody, také efekt na pokles alfa hořkých látek v chmelových hlávkách, které jsou společně s jemnými aromatickými silicemi zodpovědné za typickou příjemně hořkou chuť a vůni českého chmele (PROCHMEL 2023).

V poslední době dokonce i kvůli klesající hladině spodních vod někteří pěstitelé museli, pěstební plochy zcela opustit. Srážky bývají totiž velmi regionálního charakteru a pokud zaprší jen někde, a ještě k tomu velmi nepravidelně, a navíc v podobě prudkých přívalových dešťů, je to spíše na škodu. Voda se po rychlých deštích nestačí vsáknout, odteče a rostlina trpí suchem stejně jako předtím. Celé to vede k situaci, kdy se při stejných počátečních nákladech dostane o to méně z vypěstovaného hektaru, sníží se hektarový výnos a taky obsah alfa hořkých látek. Vše pak vede k pivovarské nevyužitelnosti chmele a ztrátě úrody (PROCHMEL 2023).

Jedním ze způsobů, jak zvýšit výnos a kvalitu chmele je například produkce rezistentních chmelových linií (Henning et al. 2017). Příkladem může být inovace, která přišla v ČR v 90. letech, kdy se povedlo vyvinout speciální metodiku šlechtění chmele. A následně v roce 2001 byla provedena i registrace nové odrůdy Agnus. Tato odrůda Agnus se stala prvním českým chmelem v sortimentu českých odrůd s vysokým podílem alfa kyselin (Nesvadba & Krofta, 2002).

3.2.4 Réva vinná (*Vitis vinifera*)

Pěstování révy vinné je ovlivněno mnoha faktory, z nichž za nejvýznamnější lze považovat vysoce specifické nároky této rostliny na půdní a klimatické podmínky (Mosedale et al. 2016). Vegetační doba vinné révy je asi 180 dní. Kvete od května do června. Pro zdárný růst vyžaduje zimní klid a stabilní klima bez větších teplotních výkyvů (Duchêne et al. 2010). Klima je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících výnos a kvalitu révy. Především teplota celého vegetačního období ovlivňuje termín sklizně a tím i výnos a složení hroznů (Jones et al. 2005). Dlouhodobý růst teplot má prokazatelný vliv na složení hroznů v případě zvyšující se koncentrace cukrů a klesající kyselosti (Schultz 2016). Podle Bock et al. (2013) který zkoumal vztahy mezi výnosy, cukernatostí hroznů a teplotou v průběhu dvou století (1805–2010), a na základě dlouhodobých trendů, je jasné, že celkové zvýšení teploty má vliv jak na objem sklizně, tak na cukernatost hroznů.

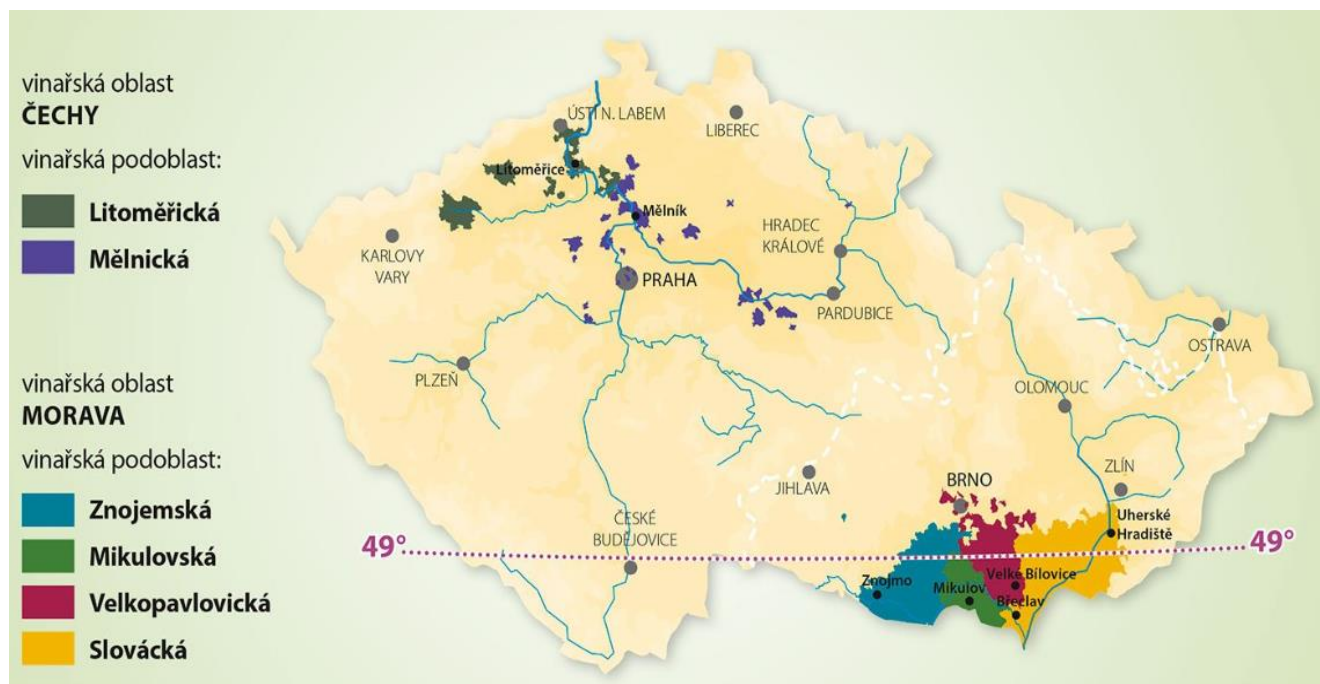
Předpokládá se, že během 21. století budou teploty nadále stoupat. S tím se budou navyšovat i negativní dopady na odvětví vinařství. Bude se jednat o krátkodobé účinky na kvalitu vína až po dlouhodobé problémy, jako je vhodnost určitých odrůd nebo udržitelnost vinařství v tradičních vinařských oblastech (Venios et al. 2020). Někteří autoři se shodují, že v budoucnu bude možné předpokládat vznik nových vinařských oblastí v lokalitách, kde dříve nebylo pěstování révy možné, a to například ve vyšších nadmořských výškách (Charters & Pettigrew 2007).

3.2.4.1 Vinohradnictví v Čechách

Význam révy, a především výsledného produktu této rostliny – vína, má v současné době výrazně rostoucí charakter vzhledem k narůstající poptávce po víně jakožto společensky atraktivní plodině. Odvětví vinohradnictví a vinařství v ČR ale jako takové není příliš významné. Pro některé regiony, převážně pro podnikatele na venkově, ale představuje značný přínos pro tamější ekonomiku. Díky vínu se v posledních letech stále více rozvíjí vinařský cestovní ruch, hlavně v již zmíněných venkovských oblastech. I když vinice zabírají necelé procento obhospodařované zemědělské půdy, stále je vinohradnictví tradiční součástí českého zemědělství. Ve vinařských oblastech se značně podílí i na formování typického rázu krajiny. Rozvoj vinařství přispívá tedy více k prohlubování krajinné kultury, důrazu na ekologii a udržitelnost a v neposlední řadě rozšiřování vinařské turistiky (Svobodová et al. 2014). Tento společný kulturní a historický význam udělal z révy objekt zkoumání, který je možné rozdělit do dvou oblastí, a to na fyzicko-geografickou a sociálně-geografickou (Hiner et al. 2014). Celé to pak je umocněno vstupem ČR do Evropské unie, která svojí politikou odstartovala rozšiřování ploch vinic a zároveň zvyšující se produkci odrůd bílých vín (Hlušek et al. 2015).

Réva vinná se řadí mezi teplomilné a světlo milné dřeviny. Pro pěstování jsou vhodné zejména jižně, jihozápadně a jihovýchodně orientované svahy v nížinách a pahorkatinách, s propustnými půdami bohatšími na živiny. Českou republiku můžeme rozdělit do dvou hlavních vinařských oblastí, na vinařskou oblast Čechy (regiony Mělnicko a Litoměřice) a vinařskou oblast Moravu (regiony Znojmo, Mikulov, Velké Pavlovice a Slovácko) viz Obr. 35. Oblast Moravy je již tradičním místem pro pěstování vína s dlouhodobě příznivými klimatickými podmínkami a mimořádně kvalitní půdou. V této vinařské oblasti je téměř 96 % ploch všech vinic, které jsou v ČR vůbec registrovány. Zahrnuje celkem 17,170 tis. ha plochy s vinohrady. Nachází se zde 308 vinařských obcí a 1 142 viničních tratí, které obhospodařuje téměř 14,5 tis. pěstitelů viz Obr. 36. Dle Českého hydrometeorologického ústavu (hodnoty let 2015–2022) tu průměrná roční teplota dosahuje 9,05 °C a průměr ročních srážek 662,25 mm.

Navíc tato oblast leží okolo 49. rovnoběžky, což je stejné i pro známou vinařskou oblast Champagne ve Francii (Ragasová 2019; Hejmalová & Šperková 2014).

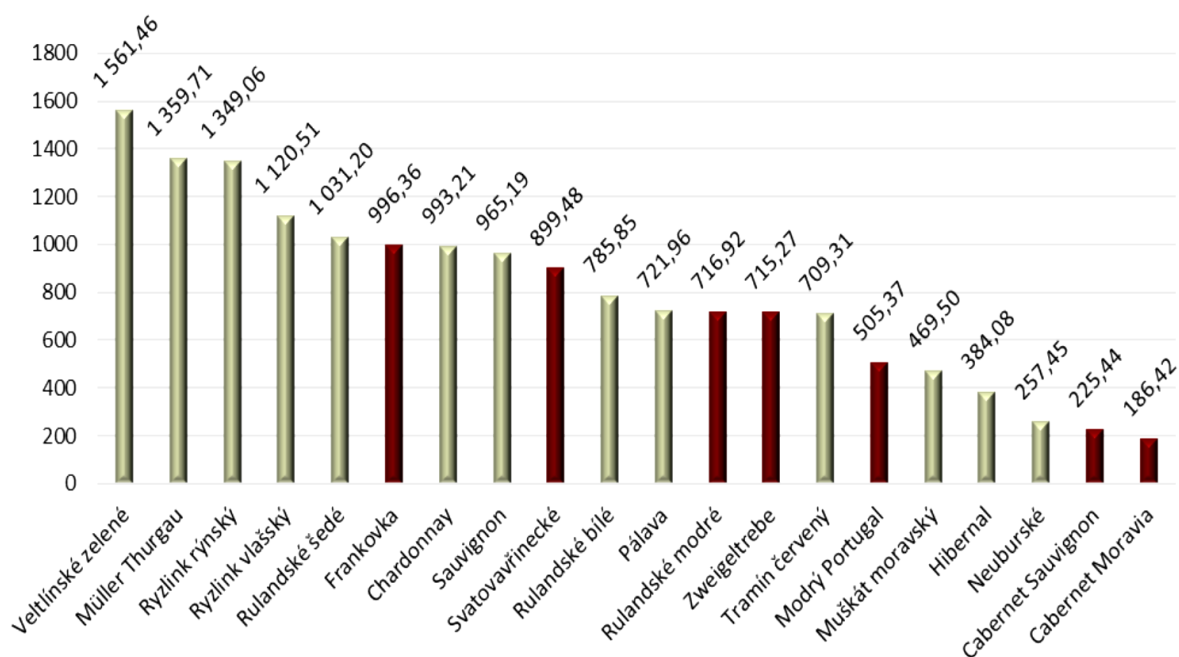


Obrázek 34: Vinařské regiony v ČR (NVC 2020)

Vinařská oblast/ podoblast	Počet vinařských obcí	Počet katastrálních území	Počet viničních tratí	Počet pěstitelů*	Plocha osázených vinic (ha)
Litoměřická	35	44	82	51	333,7720
Mělnická	40	56	89	92	342,8213
Čechy – ostatní				39	19,0965
Čechy	75	100	171	180	695,6898
Mikulovská	30	33	185	1 892	4 961,2900
Slovácká	118	133	418	6 266	4 288,6600
Velkopavlovická	70	81	321	5 467	4 765,7000
Znojemská	90	105	218	899	3 145,5900
Morava – ostatní				55	8,8500
Morava	308	352	1 142	14 450	17 170,0976
Celkem ČR	383	452	1 313	14 628	17 865,7874

Obrázek 35: Počty jednotlivých vinařských obcí, katastrálních území a viničních tratí v ČR k 31. 12. 2021 (MZE 2022)

Nejčastěji pěstované odrůdy révy v České republice jsou z pravidla odrůdy bílé. Z nejčastějších to jsou Veltlínské zelené, Ryzlink rýnský a vlašský a Müller Thurgau. Z modrých odrůd jsou to pak Rulandské modré, Frankovka, Svatovavřínecké nebo Zweigeltrebe viz Obr. 37 (MZe 2022).



Obrázek 36: Nejvíce pěstované odrůdy v ČR k 31. 12. 2021 v ha (MZE, 2022)

Dle údajů ČSÚ (2022) se z 16 tis. ha produkčních vinic v roce 2019 sklídilo přibližně 68 tis. tun vinných hroznů. Odrůdy převažovaly bílé. Výnos hroznů révy vinné se pohyboval na úrovni 4,23 t/ha, což znamenalo pokles oproti minulému roku o 35 %. Z úrody hroznů se pak vyrobilo 480 tis. hektolitrů vína. Rok 2019 tak pro jednoho obyvatele ČR znamenal průměrné vypití 17,2 litru vína, což je čtyřikrát více než například v roce 1963 (jedná se o rok zahájení sledování spotřeby vína). Výrazné navýšení zemědělského výnosu přišlo v roce 2020 viz **Tab. 8**.

Tabulka 8: Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní v ČR pro révu vinnou mezi lety 2017-2022 (ČSÚ, 2023)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
plocha (ha)	15783	15808	15797	15 807	15 941	16 081	16 140	16 359	16 416
hektarový výnos (t/ha)	4,03	5,73	4,80	5,05	6,51	4,23	5,60	5,51	5,59
sklizeň (t)	63533	90608	75905	79 774	103 704	67 956	90 376	90 059	91 764

Dle situační a výhledové zprávy MZe (2022) se sklídilo celkem 90 tis. tun hroznů révy z celkové plochy 16,4 tis. ha produkčních vinic. Což znamená nárůst sklizně oproti roku 2019 o téměř 33 %. Výnos hroznů révy vinné se také zvýšil o 32 %, a pohyboval se na úrovni 5,59 t/ha. V roce 2021 se réva vinná pěstovala na ploše 17,87 tis. ha s hektarovým výnosem 5,51 t/ha a sklizní 90 tis. tun. Rok 2021 se tak téměř shodoval s rokem 2020. Dle dat ČSÚ (2023) se plocha vinic neustále nepatrně navyšuje. Ačkoli ve sklizni bylo v roce 2022 zaznamenáno lehké navýšení, hektarový výnos zůstal téměř stejný jako v předešlých dvou letech.

Každý rok jsou vinohradníkům a vinařům vypláceny podpory z prostředků ČR. Jedná se o dotační zdroje národního charakteru vyplývající ze zákona o zemědělství, jako například z prostředků

Vinařského fondu nebo podpory poskytované Podpůrným a garančním rolnickým a lesnickým fondem. Od EU se jedná o podpory v rámci Společné organizace trhu s vínem nebo v rámci Single area payment scheme (jednotné platby na plochu). A nakonec i podpory ze vzájemných prostředků ČR a EU jako jsou podpory v rámci Programu rozvoje venkova (MZe 2022).

Dle Situační a výhledové zprávy MZe (2022) vyplývá fakt, kdy vinice v České republice s plochou nad 1 ha zaujímají 89 % celkové plochy, avšak vlastněny jsou jen 9 % registrovanými pěstiteli. Naopak vinice s rozlohou do 0,1 ha, které zaujímají 2 % z celkové rozlohy vinic v ČR, vlastní 41 % pěstitelů z celkového počtu registrovaných pěstitelů. Je zde tedy patrná koncentrace vinic s velkou rozlohou, ale s poměrně malým počtem „velkých“ pěstitelů.

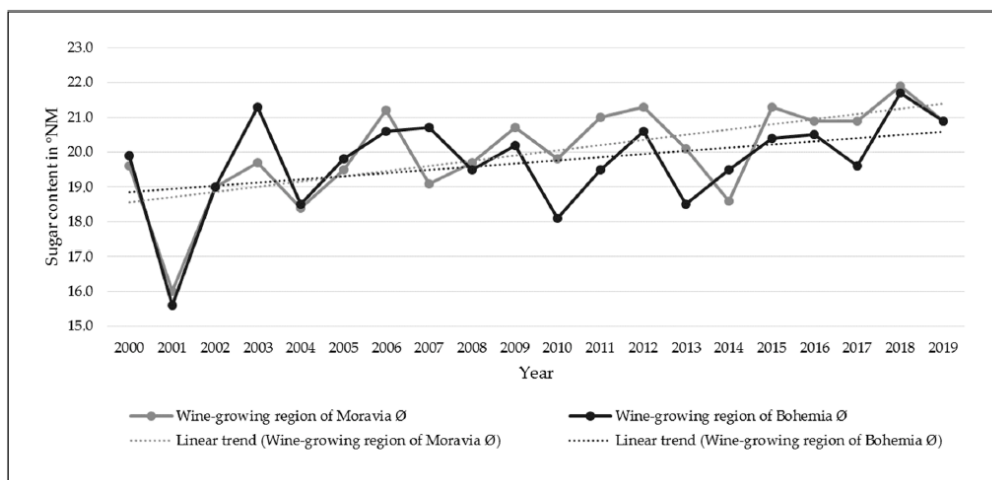
3.2.4.2 Dopady extrémního počasí na révu vinnou

Jak již bylo zmíněno, vinařství a vinohradnictví jsou v celosvětovém měřítku tradiční součástí zemědělsko-potravinářského bloku. Úspěšné pěstování révy vyžaduje specifické půdní podmínky a stabilní klima bez velkých teplotních změn. Současné klimatické změny ovlivňují především cukernatost hroznů a tím i kvalitu vína jakožto finálního produktu (Charters & Pettigrew 2007).

Na **Obr. 38** můžeme pozorovat trend růstu cukernatosti za posledních cca 20 let. Neustále se zvyšující teplota a sluneční záření jsou tak zvláště kritické proměnné, protože mají přímý vliv na délku vegetačního období, fenologické fáze, výnosy hroznů a syntézu a akumulaci cukrů, organických kyselin, polyfenolů, vitamínů a aromatických sloučenin v bobulích (Jones et al. 2005).

V zákoně č. 321/2004 Sb. o vinohradnictví a vinařství v České republice je cukernatost definována jako: „obsah zkvasitelných cukrů v hroznovém moštu, vyjádřený stupnicí běžného moštoměru“. Stupnice standardního moštoměru (°NM) udává cukernatost a jednotku kg na 100 l moštu.

Cukernatost v hroznech révy vinné se měří dle veškerých dostupných indexů Státní zemědělskou a potravinářskou inspekcí (SZPI). SZPI se zároveň soustřeďuje i na prověření odpovědnosti výrobců a distributorů za zdravotně nezávadnou produkci. V souladu s § 19 odst. 4 písm. d) zákona č. 321/2004 Sb., provádí SZPI ověřování odrůdy, původu, cukernatosti a hmotnosti vinných hroznů každý rok. V roce 2019 tak SZPI, dle situační a výhledové zprávy MZe (2020), ověřila cukernatost u 37,5 mil kg hroznů (51,6 mil kg hroznů to pro porovnání bylo v roce 2018). Na Moravě se jednalo o většinu z celkového počtu hroznů, tedy 98,42 %. V Čechách jen 1,58 % z celkového množství hroznů.

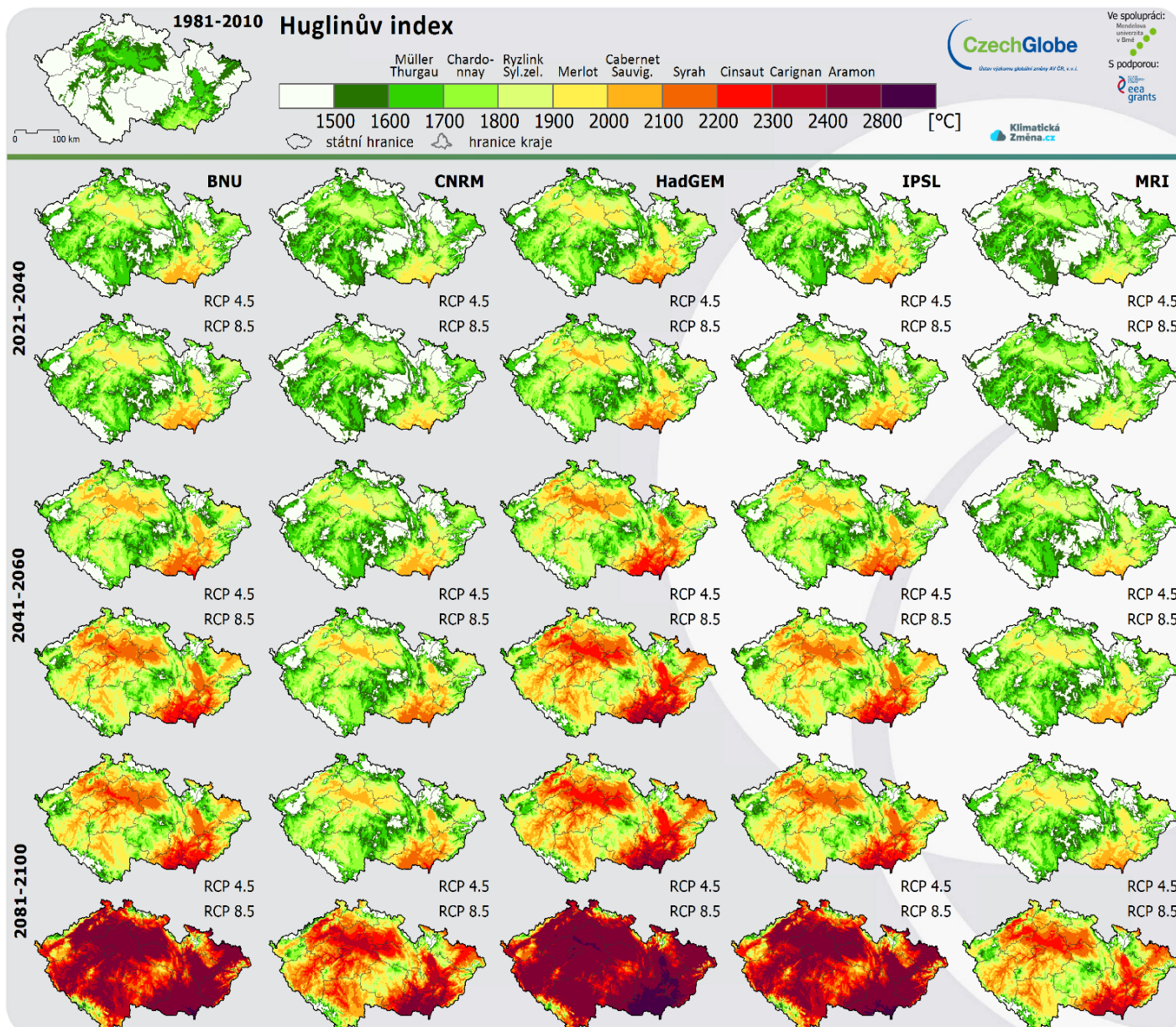


Obrázek 37: Postupně se zvyšující trend cukernatosti u révy vinné (Navrátilová et al. 2020)

Z pohledu výsledné produkce je důležitá zejména teplota v období růstu révy, která se na severní polokouli počítá jako průměr teplot od začátku dubna do konce října (Jones & Alves 2012). Úrodu vinné révy nešokuje ale jen narůstající teplota. Globální oteplování znamená delší vegetační sezonu, což značí dřívější probouzení rostlin ze „zimního spánku“. V něm bývají zpravidla odolnější vůči nízkým teplotám. Začínají tedy rozvíjet pupeny, listy, květy a výhonky, které jsou pak mrazem snadněji poškoditelné. Pozdější konec a dřívější start vegetační sezony značí nutnost rostlin přežít podstatně delší chladné noci. Délka dne se mění nejrychleji na jaře a na podzim v době jarní a podzimní rovnodennosti. Během těchto dlouhých nocí to může znamenat nečekané velké ochlazení přízemní vrstvy vzduchu. Pokud nefouká vítr a ve vzduchu není dost vodní páry, která by se srazila a bránila dalšímu poklesu teploty, klesne teplota pod nulu. Poté stačí jeden den nebo i jen několik hodin mrazu a vzniká vážné poškození rostlin (Hannah et al. 2013).

Pro zjednodušení globálního popisu počasí během vegetačního období byla v minulosti vytvořena řada indexů. Indexy vycházejí převážně z předpokladu, že vegetační klid nastává při teplotách pod 10 °C a že plodina záleží na teplotě vzduchu a době, po kterou je plodina dané teplotě vystavena. Některé indexy popisují i vlhkost a s tím spojenou kvalitu sklizně či náchylnost k chorobám, popřípadě vliv chladu a mrazu. Mezi používané indexy patří Huglinův index, Winklerův index, Branasův helio-termický index, Branasův hydrotermický index, Bioklimatický index, Suchý index, Selyaninový hydrotermální koeficient, Cool Night Index a Continentality Index. Pro zhodnocení vhodnosti podnebí daného regionu pro pěstování révy vinné se nejčastěji používá Huglinův index. Index sice neříká nic o půdních podmínkách, ale zato vše o teplotě, ať už maximální nebo průměrné. Byl vytvořený ve Francii a pro vinaře a bioklimatology slouží jako první ukazatel toho, kde a s jakými odrůdami mohou začít s pěstováním vína (Macholánová 2015).

S postupným oteplováním roste Huglinův index. Na **Obr. 39** můžeme vidět ČR rozdělenou do řádků pod sebe dle předpovědí spočítaných pomocí hlavních klimatologických modelů (BNU, CNRM, HadGEM, IPSL a MRI) pro celé 21. století. Každá předpověď zahrnuje dvě varianty. Jednu s horším budoucím vývojem koncentrace skleníkových plynů v atmosféře (RCP 8.5) a druhou s lepším vývojem skleníkových plynů (RCP 4.5). Nahoře vlevo je pak ČR ukázaná v klimatických podmínkách, tak jak ji známe dnes (Žalud et al. 2020; klimatickazmena 2022).



Obrázek 38: Stupnice Huglinova indexu s jednotlivými druhy odrůd a jejich požadavky na teplotu, která se dle grafických předpovědí bude neustále zvyšovat (Žalud et al. 2020; klimatickazmena 2022)

Extrémní počasí jako například mráz, krupobití, suché podmínky a vysoké teploty nebo naopak příliš mnoho deště, mají za následek ovlivnění výsledné úrody, vedou k nižším výnosům nebo ke snížené kvalitě hroznů. Mráz může vést k úplné ztrátě úrody, kdy zničí nové výhonky rostliny. Krupobití může snížit výnosy i kvalitu hroznů. Poškozuje rostlinu jako takovou, láme kmínky, poškozuje listy a hrozny. Ke stresu révy zase vedou dlouhodobě suché podmínky a nedostatek vláhy, kterou v tomto období rostlina zažívá. Může to vést ke snížení úrody ve ztrátě listů či výhonků. Působení slunečního záření na révu vinnou je úzce spjato s působením teploty, a tedy ovlivňuje výslednou kvalitu hroznů. Příliš vysoké teploty poté snižují výnosy nebo vedou k předčasnému dozrání hroznů a tím pádem ke snížení kvality vína.

Naopak příliš mnoho deště může snížit kvalitu výnosů vína v podobě hniloby hroznů nebo v extrémních případech hnilobou celé rostliny. K udržení zdravého růstového režimu révy a k dosažení

její plodnosti je potřeba alespoň 300 mm vodních srážek během celého roku rozložených do celého vegetačního období. Příliš vysoký či naopak nízký úhrn srážek má pak významný vliv na objem celé sklizně. Tuto situaci můžeme pozorovat na sklizni roku 2010, kterou v České republice negativně ovlivnil vysoký úhrn srážek v období května. Během tohoto období došlo v některých oblastech k poklesu hektarového výnosu až o 40 % (Sůkalová 2010).

3.2.5 Meruňky (*Prunus armeniaca*)

Meruňka je jeden z teplomilných druhů ovocných stromů pěstovaných v nejteplejších oblastech ČR. Jedná se o dřevinu původem z Číny. Do Evropy se dostala díky Alexandru Velikému. Patří do čeledi růžovitých (*Rosaceae*) spolu s botanicky příbuznou broskvoní a mandloní. V květu vytváří bílé až růžovočervené květy. Řadí se mezi peckoviny se zaoblenými plody dorůstající velikosti čtyř až osmi centimetrů světle až tmavě oranžové barvy. Plody mají sladkou chuť, přestože cukru obsahují jen poměrně málo, zhruba 8,5 g na 100 g ovoce. Pyšní se také vysokým obsahem vody, karotenoidy, které jí dodávají typickou barvu a pro lidské tělo působí jako antioxidanty. Dále obsahují vitaminy skupiny B (zejména niacin), vitamin C, kyselinu listovou, minerály jako železo, draslík, hořčík a vápník a v neposlední řadě také fenolové kyseliny, které jsou člověku zdravotně prospěšné.

Meruňky jsou poměrně nenáročné na půdu. Vyžadují však slunné a chráněné stanoviště, ideálně na mírně svahovitých pozemcích. Pěstování meruněk se obvykle provádí v ovocných sadech, kde se pěstují jako stromy s vysokým kmenem nebo jako nízké keře. Pro pěstování meruněk je také důležité správné ošetřování, které zahrnuje pravidelné zavlažování, hnojení a ochranu proti škůdcům a chorobám. Společným biologickým znakem všech druhů meruněk je malá přizpůsobivost k podmínkám vnějšího prostředí, vysoká náročnost na letní teplotu a poměrně krátké vegetační období. Poměrně vzdorné proti nízkým teplotám jsou ovocné stromy v době vegetačního klidu. Avšak i v tomto období je vzdornost proměnlivá. Bylo zjištěno, že po opadu listů je poškozována meruňka již teplotou -10 až -12 °C. Ovocné stromy jsou schopné dobře přezimovat, pokud na podzim, ihned po opadu listů nastane mírný pokles teploty několik stupňů pod nulu. V tuto dobu se nerozpustné uhlohydráty přemění v cukry a zajistí tak dostatečnou hustotu buněčné šťávy. Tento hydrolyzační (vytváření rozpustných látek) pochod začíná po opadu listů a postupně roste jako příprava stromů na hlubší zimní mrazy. Také bílkovinné látky se mění a vytvářejí ochranné látky bránící vysrážení bílkovin. Pro celý proces je ale potřeba dostatek vody. Ovocný strom však i v zimní době každodenně ztrácí 250-300 g vody a tento úbytek nahrazuje nasáváním vody pomocí kořenů. Pokud je ale půda zmrzlá není to možné a buňky tak nejsou schopny vytvořit ochranné látky. Pokud je ale vody dostatek, je schopná snést teploty až -30 °C, není-li jí dostatek, zmrzne při -20 °C. Proto je vhodné v suchých oblastech a po suchém podzimu zavlažovat mladé sady při opadu listů před zimou dostatečným množstvím vody (Vávra 1961).

Sklizeň meruněk v ČR obvykle probíhá v červenci a srpnu, v závislosti na konkrétních klimatických podmínkách v daném roce. Meruňky po sklizni nedozrávají, proto je potřeba je sklízet v přesně daný čas od července do srpna kdy dozrávají na stromě. Výnos u ovoce se přepočítává na celkový počet stromů (keřů) místa „na hektar“ jako u ostatních plodin. Výnosy této dřeviny jsou úzce závislé na průběhu počasí v době květu. Náhlá jarní ochlazení (převážně dubnová) mohou způsobit značné poškození rozkvetlých květů a následnou úrodu. Jedná se o fenofázi v počátcích kvetení a nastupuje, když na sledovaném stromu dojde alespoň v několika různě umístěných květenstvích k rozkvětu prvních květů. Aktivní teplota pro počátek kvetení meruňky, jakožto rozhodující průměrná denní teplota

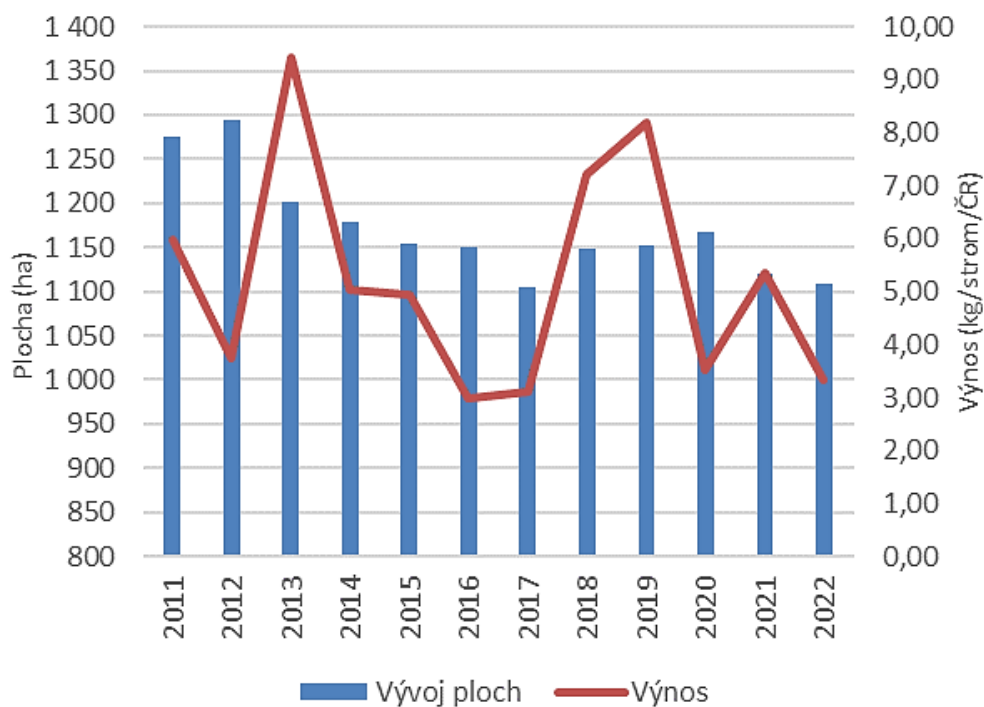
u meruněk je literaturou udávána jako teplota vyšší než 5,5 °C (Středa & Rožnovský 2006). Teplota, při které dochází k poškození květů je -2 °C. Co se týče srážek, těch meruňka pro svůj správný růst potřebuje 650–750 mm. Pokud se ve fázi nasazení plodů objeví teplota pod -0,5 °C, nastává situace poškození i těchto plodů (AGRObase 2021).

3.2.5.1 Pěstování meruněk v Čechách

Meruňky jsou u nás celkem běžně pěstovanou ovocnou plodinou. Stromům se daří převážně v teplém a spíše sušším podnebí. Pěstují se v oblastech s mírnou zimou, jako je jižní Morava nebo jižní a střední Čechy. To odpovídá i největším Českým producentům, kteří jsou z Moravy a jižních Čech.

V období od roku 1994 do května roku 2022 se v ČR nově vysázelo celkem 15 648,8 ha produkčních ovocných sadů, z toho s podporou v rámci dotační politiky státu 12 192,4 ha. Z celkového množství bylo 981,8 ha meruněk (MZe 2022). Rok 2022 podle byl ÚKZÚZ (2022) relativně dobrý, i když ho poznamenaly brzké jarní mrazíky v průběhu dubna a května a například oblast Velkých Bílovic v době sklizně zasáhlo silné krupobití a část produkce byla zničena. V celkové sklizni 1,5 t se to nicméně neprojevovalo nijak výrazně negativně, jen u určitých odrůd a pouze v některých lokalitách.

Rok 2021 meruňkám přál a přinesl 1 862 tun sklizně, což činilo 155 % pětiletého průměru u tohoto ovoce. Pro rok 2020, podle údajů ČSÚ (2021) bylo v ČR sklizeno celkem jen 591 tun meruněk a výnos činil 3,51 kg/strom. Významnou část meruněk tentokrát nezasáhly tolik jarní mrazíky, ale spíše silné a časté krupobití v tomto roce. Celková produkce byla o polovinu nižší než v předchozím roce 2019, kdy výnos činil 8,18 kg/strom. Po roce 2018, který byl taktéž úrodný, se sklizní 2 255 tun a výnosem 7,21 kg/strom se tak jedná o dva ročníky s dobrou úrodou po pěti letech viz **Obr.40**, který také ukazuje úbytek plochy (v rámci nevýnosnosti pěstování meruněk) a zároveň amplitudu výnosů pro každý rok přibližně deset let zpětně.



Obrázek 39: Vývoj ploch a výnosů meruněk (ČSÚ 2022)

Zdá se, že pro meruňky není natolik významné suché léto jako mrazivé teploty v měsících jara (březen, duben, květen) anebo silné přívalemé deště a bouřky s krupobitím v období července a srpna, které otlučou dozrávající plody. Příkladem může být rok 2018 jako rok velmi výnosný, přičemž produkci mráz taky zasáhl. Odehrálo se to ale jen na některých lokalitách. Stalo se tedy, že v jednom roce byly podniky buďto s plnou úrodou nebo se sady prakticky bez úrody. Významná část produkce byla například na Břeclavsku postižena těsně před sklizní krupobitím. Podobně jako v minulých letech, se vlivem chladného května posunula doba květu přibližně o 10 dní dříve. Meruňky zrály až v polovině června, pozdnější odrůdy až po 10. červenci. Dalším negativním faktorem bylo velké poškozování plodů hmyzem. Vzhledem k suchému počasí se plody staly zdrojem vody i pro normálně užitečný hmyz jako jsou škrvoři, kteří na úrodě 2018 napáchali škody způsobující následný rozvoj hnilob. Přesto se v tomto roce dařilo a nárůst za pětileté období zpětně činil přes 50 % viz **Tab. 9** (MZe 2019).

Tabulka 9: Vývoj ploch, sklizní a počtu stromů meruněk v ČR mezi lety 2014-2022 (ČSÚ 2023)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
produkční plocha (ha)	1 179	1 155	1 151	1 104	1 148	1 152	1 167	1 120	1 108
ovocné stromy a keře (tis. ks)	517	508	504	542	519	537	524	529	526
výnos (kg/strom/ČR)	5,04	4,95	2,98	3,11	7,21	8,18	3,51	5,35	3,34
sklizeň (t)	2 317	2 238	782	1 019	2 255	2 872	591	1 862	1 529

3.2.5.2 Dopady extrémního počasí na meruňky

Celková výměra ovocných sadů v ČR, dle údajů ČSÚ (2023) zaznamenala v roce 2022 pokles o 580 ha daná stále klesající výnosností pěstování tohoto ovoce. Vliv na tuto situaci mají především podprůměrné sklizně z let 2010 až 2012. Zhoršení situace ovocnářů nastalo také kvůli zavedení ruského embarga na dovoz ovoce z EU v roce 2014 nebo také pozdní jarní mrazy v roce 2016, 2017 a 2019 anebo sucho v roce 2015, 2018 a 2022. Navíc v červnu roku 2021 byla oblast jižní Moravy zasažena tornádem a výrazným opakujícím se krupobitím.

Chladové epizody v průběhu dubna a května jsou u pěstování meruněk zaznamenávány každým rokem. V roce 2021 se na velké části výsadeb podařilo eliminovat poškození mrazem pomocí protimrazových opatření jako je například pálení parafinových svící, ochrana stromů závlahou, která má účinnost až do -6 °C a může oddálit dobu vegetace nebo šlechtěním a sázením mrazuvzdorných odrůd.

3.2.6 Adaptační opatření

Období 2011–2020 bylo nejteplejším desetiletím v zaznamenané historii. Průměrná celosvětová teplota v roce 2019 byla 1,1 °C nad úrovní před průmyslovou revolucí (1750). Na zmírnění a eliminování negativních dopadů klimatických změn budou do budoucna hrát velkou roli adaptační opatření. Za taková opatření můžeme považovat v podstatě jakoukoliv úpravu, která vede ke snížení zranitelnosti před dopady klimatických změn. Jednotlivé adaptace je možno sledovat od změněných půdních vlastností, při čemž nejodolnější půdy vůči klimatické změně jsou půdy s černickým horizontem (černozemě a černice;) přes úpravu technologií zpracování půd po úpravy ve struktuře plodin, osevních postupech a využívání vyšlechtěných odrůd odolných vůči nepříznivým klimatickým podmínkám. V neposlední řadě nesmíme zapomínat na ekonomická adaptační opatření (např. dotaze EU) nebo tzv. informativní adaptační opatření (zvyšování informovanosti zájmových skupin):

Podpora metod pro ochranu půdy

Z hlediska zpracování půdy mají fyzikální vlastnosti půdy prvořadou úlohu, protože především tyto vlastnosti rozhodují o tom, jakým způsobem je vhodné půdu obdělávat a jakých změn fyzikálních vlastností je třeba dosáhnout, aby fyzikální stav půdy byl pro pěstované rostliny nejpříznivější. Jedná se o zlepšování úrodnosti půdy, struktury půdy v rámci agroenvironmentálních opatření a vybudování kontrolních mechanismů pro jejich dodržování. Při porovnání půdoochranného zpracování půdy s konvenčním se mění půdní struktura, která ovlivňuje schopnost půdy absorbovat a přemísťovat vodu.

Zpracování půdy => minimalizace operací.

Ve vhodných lokalitách přeměnit ornou půdu v lesní porost s kvalitní druhovou skladbou, nebo travní porost, jako opatření proti větrné a vodní erozi nebo minimálně pro lepší zadržování vody v krajině.

Podpora zadržování vody v krajině a hospodaření s touto vodou

Zemědělství je největším spotřebitelem dostupné sladké vody na Zemi. Strategie by se mohla zaměřit na zvýšení účinnosti vody v krajině a snížení její celkové spotřeby. Jde primárně o zachování a případnou revitalizaci mokřadů, o vybudování sítě (i menších) vodních nádrží, které by v době sucha sloužily jako zásobárny vody pro potřeby závlah. Dále vybudování infrastruktury pro zavlažování v podobě lesních pásů s protierozní, ale i vodohospodářskou (nižší vítr znamená nižší evapotranspiraci) funkcí. Jedná se především o závlahy a mikrozávlahy pro zelinářství, ovocnářství a vinařství s doplňující funkcí protimrazové ochrany v jarním období.

Mohlo by se využít vylepšených zavlažovacích technik – jako je přechod od zaplavení na kapkové zavlažování nebo přesnější plánování zavlažování s přizpůsobeným množstvím vody pro různé fáze růstu plodin. Využit střídání plodin, metody bezorebného zpracování půdy (metoda pěstování plodin s minimálním narušením půdy) a používání krycích plodin (použit krycí plodiny pouze na polovině půdy používané k pěstování) pomáhajících budovat zdraví půdy. To by umožnilo půdě samotné absorbovat a zadržovat více vody.

A na závěr začlenění opatření pro přizpůsobení a hospodaření s vodou do programů rozvoje venkova na celorepublikové úrovni.

Prevence mrazových poškození

Zavést například stínění, natírání kmenů vápenným mlékem. Citlivé rostliny balit např. do slámy nebo je přemístit na přezimování do skleníků či jiných vhodných zimovišť – stejně jako se to provádí u okrasných rostlin. Zároveň využít zálivky draslíku před zimou, hnojení draslíkem je schopné zvýšit odolnost proti mrazu.

Významným adaptačním opatřením je prevence a znalost principu mrazových kotlin, do kterých patří obilniny, brambory, píce, zatímco vinice, ovoce a na poškození mrazem citlivé plodiny do mrazových kotlin nepatří. Mezi adaptační opatření patří i hnojení organickým hnojem a aplikace mulčovací technik až po folie, fóliovníky a skleníky.

Podpora šlechtění suchovzdorných a mrazuvzdorných odrůd

Nejvýznamnější hráči na trhu v této oblasti uvádí v posledních letech celé série těchto odrůd jak u ječmene, pšenice, kukuřice či vinné révy. Jedním ze zásadních řešení je příprava takových nových rostlinných odrůd, které budou mít zvýšenou stresovou toleranci nebo rezistenci. Můžou se použít klasické šlechtitelské postupy (pohlavní křížení, mutagenese nebo selekce) nebo jejich moderní alternativy, vycházející z poznatků molekulární biologie. Jedná se o genové inženýrství, resp. genetické modifikace jejichž „produktem“ jsou pak tzv. geneticky modifikované (GM) plodiny (ÚKZÚ, 2022).

Podpora dotací od státu

Využívání nejen dotací jednotlivých zemědělců a zemědělských podniků, ale také intervence ze strany státu k podpoře motivace farmářů k využívání zemědělského pojištění a pojišťoven k poskytování tohoto pojištění, resp. zřízení Fondu těžko pojistitelných rizik se zaměřením na sucho a srážky v době sklizně.

Platba pro zemědělce dodržující zemědělské postupy příznivé pro klima a životní prostředí (greening)

Podmínky této platby upravuje nařízení vlády č. 50/2015 Sb. Pokud žadatel požádá o Jednotnou platbu na plochu (SAPS), je povinen dodržovat na všech svých způsobilých hektarech zemědělské půdy zemědělské postupy příznivé pro klima a životní prostředí. Cílem je snížit negativní dopady zemědělské činnosti na životní prostředí. Základní pravidla greeningu vyplývají z příslušného evropského nařízení pro přímé platby (Ecological Focus Area - EFA), které vymezuje jeho tři složky. Jedná se o diverzifikaci plodin, zachování výměry trvalých travních porostů a vyhrazení plochy využívané v ekologickém zájmu (MZe 2022).

Dodržování standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu - DZES (GAEC)

Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy (DZES) je definován nařízením české vlády jako standard, který zajišťuje zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí.

Šetrné zemědělské hospodaření, které má vliv na snížení rizika eroze nebo zvyšování obsahu organické hmoty v půdě, podporuje ochranu krajinných prvků a dbá na správné využívání vodních zdrojů nejen pro závlahy. DZES by se měly stát kodexem každého zemědělce.

Budování monitorovacích systémů

Nahodilé sucho je velmi nebezpečným přírodním jevem právě svým neočekávaným a nepravidelným výskytem v prostoru a čase. Odborně fundovaná prognóza sucha je z těchto důvodů velmi problematická až nemožná. Velký význam proto v poslední době mají speciální postupy a přístupy, pomocí nichž lze na základě operativních informací o počasí vyhodnocovat aktuální vláhově-bilanční stavy krajinného prostředí a kvalifikovaně tak odhadovat výskyt sucha a jeho vývoj v nejbližším období (ČHMÚ 2022). Příkladem může být projekt PRO CHMEL vysvětlený v kapitole Výsledky.

Je tedy důležité zavést větší monitoring abiotických i biotických faktorů se schopností jejich krátkodobé prognózy.

Doplňky

- Limit přístupu k pozemkům je půdní vlhkost. V případě nasycenosti půdního profilu není možné na pozemky vyslat těžkou zemědělskou techniku. Změna klimatu přináší vyšší variabilitu a častěji se budou vyskytovat i období nevhodná pro vstup mechanizace na pozemky v agrotechnických termínech setí (a také sklizně). U setí je nutné mít alternativní plán z pohledu výběru plodiny z důvodu promeškání termínu.
- Existují přístroje na rozrušení inverzní vrstvy vzduchu, které zpřístupní uvolní příznivější počasí blíže k rostlinám rozbitím inverzní vrstvy v nížinách.
- Využití PARAFÍNOVÝCH SVÍCÍ. Svíce hoří mírným plamenem, vysokým přibližně třicet centimetrů šest až deset hodin. Je to jedna z možností pro využití v sadech u ovocných stromů proti mrazovým škodám. Avšak je extrémně pracné, během hoření je pozemek nepřístupný, vzniká vysoký objem na skladování a v závěru i kouř. Je tedy na každém pěstiteli zda se pro tuto metodu rozhodnout.
- Ochrana závlahou – uvolnění latentního tepla jako další způsob protimrazové ochrany při zavlažování – až do -6° spolehlivé (dávka 2-3 mm/hod). Uvolní se latentní teplo při mrznutí. Zavlaží se půda a zvýší se tepelná vodivost a tím rychlejší přísun tepla z hloubky k povrchu. Vlhkost vzduchu se zvýší a tím opět zabrání dalšímu vyzařování z povrchu. Možnost využít u ovocných stromků a oddálit tím začátek vegetace nebo ochránit květy před mrazem.
- Preventivní opatření 4Prevence což by mohlo znamenat správnou výživu rostlin danou přehnojením dusíkem, který vyvolá vodnatost pletiv. Rostlina tak vytvoří více bílkovin na úkor glycidů, které jsou jednou z podmínek mrazuvzdornosti a tzv. 4hnojení organickými hnojivy se stane účinným protimrazovým opatřením, kdy se i při jeho mikrobiálním rozkladu uvolní hodně tepla.

4 Metodika

Tématem diplomové práce bylo hodnocení dopadů extrémního počasí na výnosy a kvalitu vybraných zemědělských plodin na území České republiky. Měly být analyzovány především dopady nízkých teplot, sucha, horkých vln a extrémních srážek na vybrané plodiny, jimiž jsou obiloviny, kuřice, chmel, vinná réva a meruňky. V práci byly extrémní vlivy počasí z neaktuálnějších let 2021, 2022 a nejsuššího roku 2018 srovnávány s od ČHMÚ danými hodnotami normálů let vůči novému normálovému období 1991–2020. Období před rokem 2020 bylo porovnáváno s hodnotami normálů období 1981–2010. Historicky byla srovnávací a sledovací data nasbírána maximálně z druhé poloviny 20. století.

V práci byly celkově vyhodnocovány dopady změn klimatu na vybrané plodiny a návrh adaptačních opatření týkajících se každé z nich. Vyhodnocení informací proběhlo analýzou nejnovějších poznatků z vědeckých studií. Soubory dat byly analyzovány formou výpočtů četností, regresí nebo korelací, zanesených do tabulek a grafů pomocí Excel programu MS Office využívající navíc i funkce předpovědi budoucích hodnot trendů.

V rámci adaptačních řešení pro jednotlivé plodiny bylo primárně vycházeno z Národního plánu adaptace na změnu klimatu jakožto vládního implementačního dokumentu Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR.

Výnosové řady plodin jsou základem většiny analýz.

Informace byly čerpány z hlavních vědeckých webových databází Web of Knowledge, Scopus, Science Direct, NaturPortfolio, Wiley Online Library s využitím převážně klíčových slov „klimatická změna“, „extrémní počasí“, „sucho“ nebo „výnosy a kvalita“. Dalším pomocným prvkem při sběru dat byly webové stránky s interaktivními přehledy týkající se sucha (intersucho.cz), změn klimatu (klimatikcazmena.cz), výnosů plodin (vynosy-plodin.cz) nebo fenologických fází rostlin (fenofaze.cz). Vyhodnocení klimatologických charakteristik na území České republiky vycházela primárně z dat naměřených v síti standardních meteorologických a klimatologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Dále z databází čerpaných převážně z Českého statistického úřadu (ČSÚ), Ministerstva zemědělství (MZe), Katastrálního úřadu, Ústředního kontrolního úřadu zemědělského (ÚK-ZÚZ), Chmelařského institutu a dalších. Zdrojem informací od těchto subjektů byly převážně jejich Tiskové nebo Výroční zprávy. Všechny zdroje jsou uvedeny v seznamu referencí.

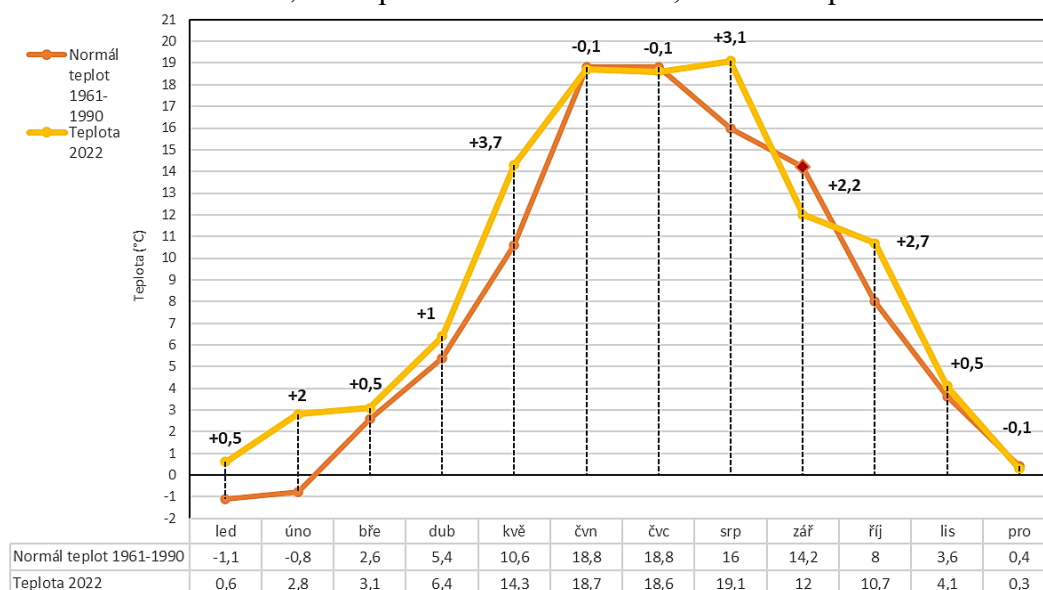
5 Výsledky a diskuze

Na základě nasbíraných a vyhodnocených dat převážně z ČHMÚ a ČSÚ spolu s údaji z každoročních výročních zpráv MZe jsme zjistili, počty tropických nebo mrazových dní, délky horkých vln či mrazových období, denní maxima i minima, průměrné roční nebo měsíční teploty nebo úhrny srážek a hodnoty ročních hektarových výnosů, sklizní, ploch a počtu stromů ke každé ze zkoumaných plodin. Data pro výzkum byla brána z co nejaktuálnějších let 2022 a 2021, případně v porovnání s roky nejextrémnějšími 2018, 2019 a dalšími. Rozmezí let pro porovnání s historickými daty bylo bráno převážně z 1998 až 2022 s přidáním trendů do budoucna. K porovnání byly také využity dlouhodobé normály meteorologických hodnot v třicetiletých obdobích 1991-2020, 1981-2010 nebo 1961-1990.

Na grafech s výnosy u každé plodiny zvlášť je žlutě vyznačená spojnice trendu ukazující odchylku od průměru hodnot jednotlivých ročních hektarových výnosů. U každé plodiny jsme zaznamenaly značně kolísající výnosy v posledních deseti letech. Prokázali jsme, že tyto výkyvy jasně souvisí se změnami klimatu, konkrétně s extrémními jevy suchých period, horkých vln a přívalových dešťů (s případným krupobitím). Bylo zjištěno, že už třídní horká vlna s denními teplotami neklesajícími pod 30 °C může zásadně zredukovat počet odnoží, počet květů nebo nalévání zrna u většiny polních plodin. Horká vlna v květnu, červnu ale i v červenci (např. pro kukuřici) může dramaticky zredukovat výnos. Proti této hrozbě není v polní produkci jednoznačné adaptační opatření. Zmírnit dopady by ale měl dobrý vývoj porostu, kvalitní agrotechnika, výživa a ochrana proti chorobám a škůdcům. Byl prokázán nárůst tropických dní v porovnání s úbytkem dní mrazových.

5.1 Teplotní a srážkový přehled na území ČR

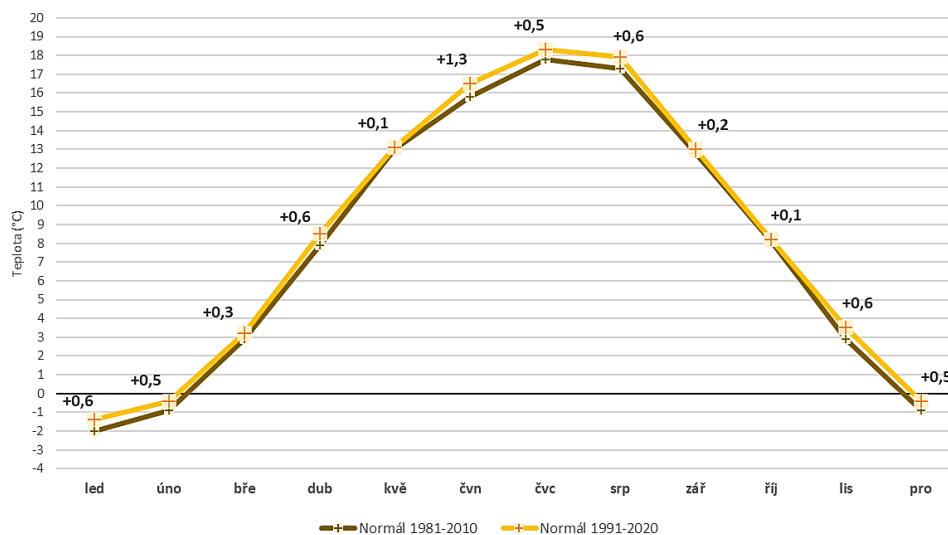
Pro první zhodnocení klimatické změny a zmíněného oteplování jsme zvolili porovnání nejaktuálnějších průměrů měsíčních hodnot s nejstarším dlouhodobým klimatickým normálem 1961-1990 viz **Obr. 41**. U osmi měsíců z dvanácti, byly teploty vyšší než normál. Nejvyšší byly v květnu a srpnu, nejnižší s rozdílnou hodnotou -0,1 °C oproti normálu v červnu, červenci a prosinci.



Obrázek 40: Porovnání teplot v jednotlivých měsících roku 2022 s nejstarším normálem 1961-1990 (ČHMÚ 2023)

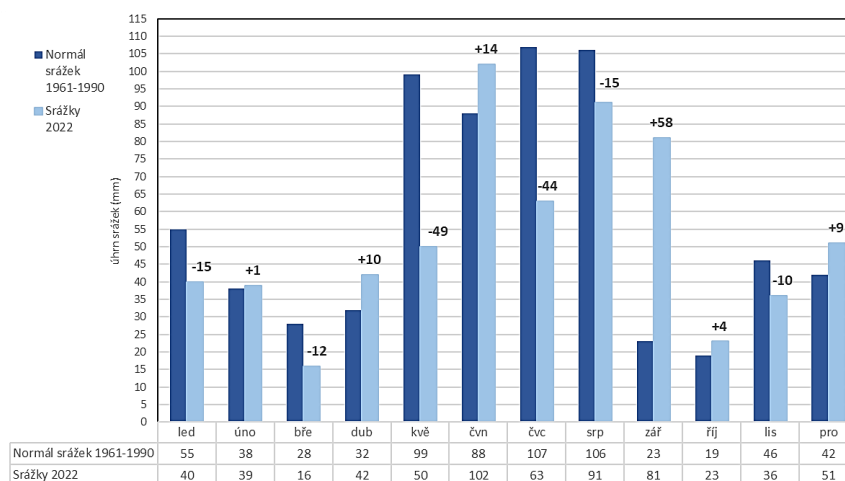
Rok 2023 bude pro porovnávání aktuální klimatické situace využívat nového období dlouhodobého klimatického normálu 1991-2020. Doposud se užívalo předchozí třicetiletí 1981-2010. Zaměřili jsme se tedy na porovnání těchto dvou období z hlediska teplot a srážek.

Pro plnohodnotné potvrzení nárůstu teplot jsme provedli ještě jedno srovnání. Tentokrát dvou následujících dlouhodobých normálů hodnot. Z tohoto porovnání je patrný již nárůst teploty ve všech měsících roku viz **Obr. 42**.



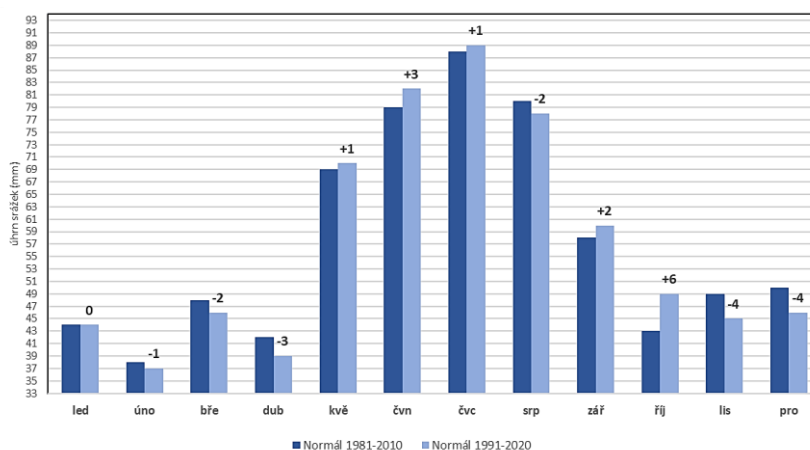
Obrázek 41: Porovnání teplot dlouhodobých normálů 1981-2010 a 1991-2020 (ČHMÚ 2023)

To samé bylo srovnáno u úhrnů srážek. Zde jsme ale vypožorovali, že průměrný měsíční úhrn srážek není tak jednoznačný jako rozdíl u teplot. Bylo zde vidět značné rozkolísání a nepravidelnost úhrnů viz **Obr. 43**. V porovnání kladných (+58 v září) a záporných (-49 v květnu) rozdílů úhrnů bylo zjištěno, že 6 měsíců mělo úhrny vyšší než normál, u stejného počtu pak nižší úhrny než normál. Nejvíce srážek spadlo však v září, květnu a červenci. Meziroční variabilita srážkových úhrnů je obecně vyšší v měsících květen–září, kdy jsou dosahovány i nejvyšší úhrny. Je to způsobeno vyšším podílem srážek konvekčního původu na úkor srážek frontálních, které se relativně více uplatňují během března a dubna. Konvekční srážky, často ve formě přeháněk a bouřek, se vyznačují prostorovou heterogenitou a v některých případech mimořádnou intenzitou (přivalové deště). Vyšší celkové měsíční úhrny proto nemusí nutně znamenat, že daný měsíc byl jako celek deštivý.



Obrázek 42: Porovnání úhrnů srážek v jednotlivých měsících roku 2022 s normálem 1961-1990 (ČHMÚ 2023)

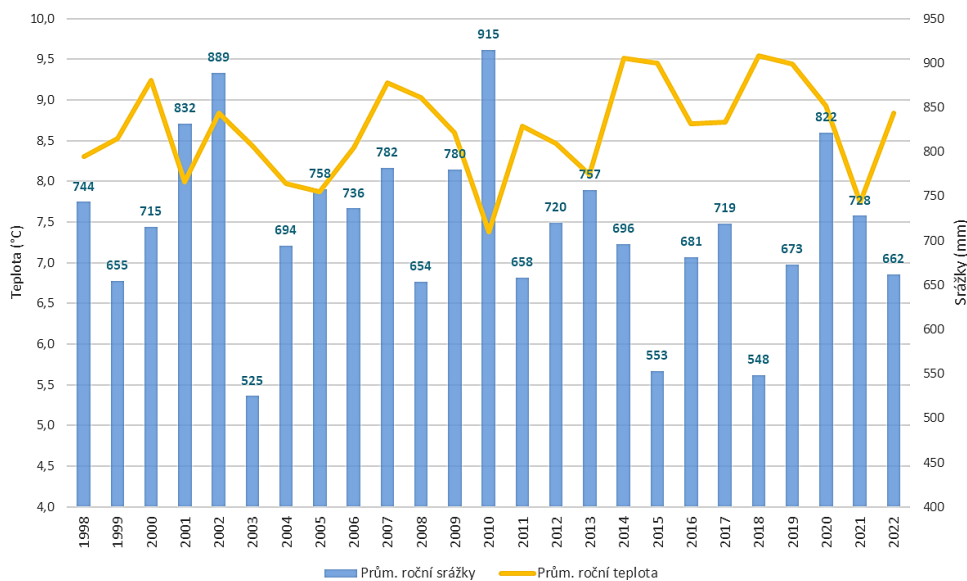
U porovnání dvou dlouhodobých průměrů už to ale bylo jiné. Rozdíl v úhrnech byl zaznamenán v rozmezí od -3 mm do +6 mm. Nejvíce srážek spadlo v měsících října, což může vést ke špatnému uchycení zasetých ozimých plodin, nejméně pak v dubnu, což může zase způsobit nevzejití porostu na jaře. Leden se dokonce ukázal dlouhodobě stejný **viz Obr. 44**.



Obrázek 43: Porovnání srážek dlouhodobých normálů 1981-2010 a 1991-2020 (ČHMÚ 2021)

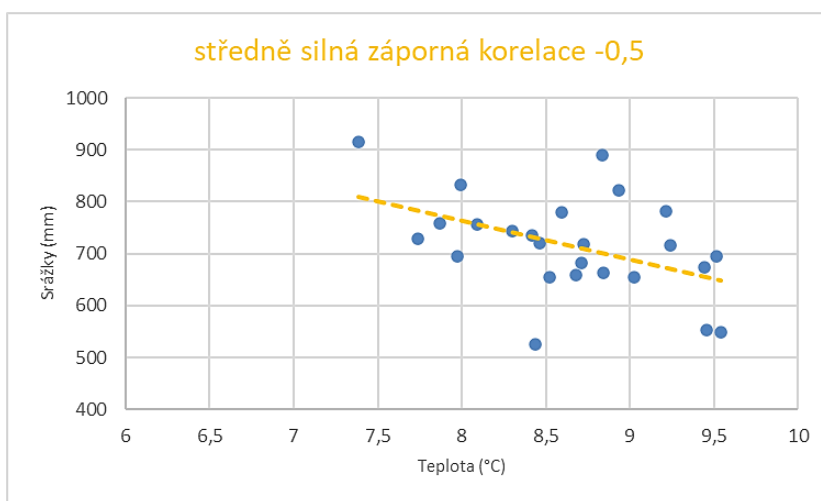
Pro dobrou úrodu zemědělských plodin je důležitá pravidelnost. Pokud srážky přicházejí náhle, vůbec nebo ve velkém množství, navíc s sebou někdy přinesou i bouřky s krupobitím, může to vyrostlé plodiny až úplně zničit. Při nárazovém a vysokém množství je i riziko eroze, kdy půda nestihne vsáknout veškerou spadlou vodu a ta tak odteče pryč, přičemž s sebou odnese i část vrchní vrstvy ornice. V posledních letech byl zaznamenán nárůst množství bouřek s krupobitím.

Abychom zhodnotili vzájemnou souvislost teplot a srážek, využili jsme korelaci průměrných ročních teplot vzduchu a úhrnů srážek pro období 1998-2022. Na **Obr. 45** je patrná nestálost ročních úhrnů srážek a průměrné roční teploty, kdy jako suché hodnotíme roky 2003, 2008, 2011, 2015, 2018, 2019 a 2022.



Obrázek 44: Vzájemný vztah průměrné roční teploty s průměrným ročním úhrnem srážek (ČHMÚ 2023)

Výpočtem jsme zjistili vzájemný vztah srážek a teplot v hodnotě korelačního koeficientu $-0,5$. Znamená to tedy středně silnou zápornou vazbu těchto dvou faktorů. To přímo znamená, že se zvyšujícími se teplotami klesalo množství srážek a naopak **viz Obr. 46**.



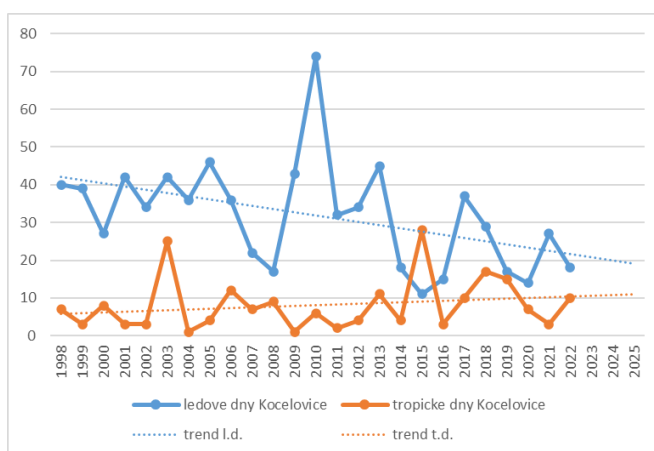
Obrázek 45: Korelace srážek a teplot let 1998–2022 (ČHMÚ 2023)

V letech s největším suchem jsme zaznamenali taktéž největší počet tropických alias horkých dní a v opačném případě extrémů dní s holomrazy. Zaměřili jsme se na výjimečně teplé dny v ČR a pro zvolení příkladu jsme využili meteorologickou stanici Brno-Tuřany (B2BTUR01), jako představitele klimatických změn Moravy, meteorologickou stanici Kocelovice (C1KOCE01) jako zástupce jihu Čech a stanici Milešovka (U1MILE01) jako horu v Krušnohorském pásu.

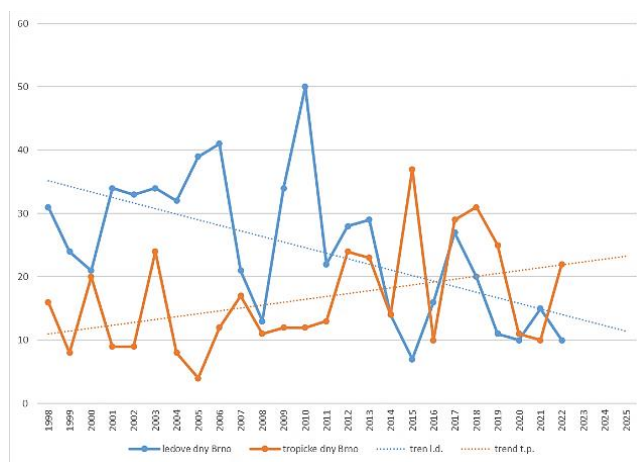
Obecně můžeme porovnat navýšení teplých dní od let 1961–1980, kdy normou bývalo asi 41 dní ročně, protože pro roky 1981–2000 to bylo 60 ročně a v letech 2001–2020 až 79 za rok. Extrémně teplých dní také přibývá. V letech 1961–1980 bychom je našli třikrát do roka, avšak v letech 2001–2020 jich už máme 8 během roku. Co se týče výjimečně chladných dnů, těch ubývá. Což si ukážeme

na porovnání v datech, kdy v letech 1961–1980 jich bylo 43 za rok, v letech 1981–2000 jejich počet klesl na 40 a v letech 2001–2020 už máme 31 dní v roce. Vnímáme je buď jako velmi mrazivé dny v zimě, jarní mrazíky na jaře, nebo prudká ochlazení v létě. Extrémně chladné dny oproti těm teplým tolik neoscilují, tedy klesají tak jako teplé dny rostou, v průměru přicházejí stále 1 až 3 ročně (ČHMÚ 2023).

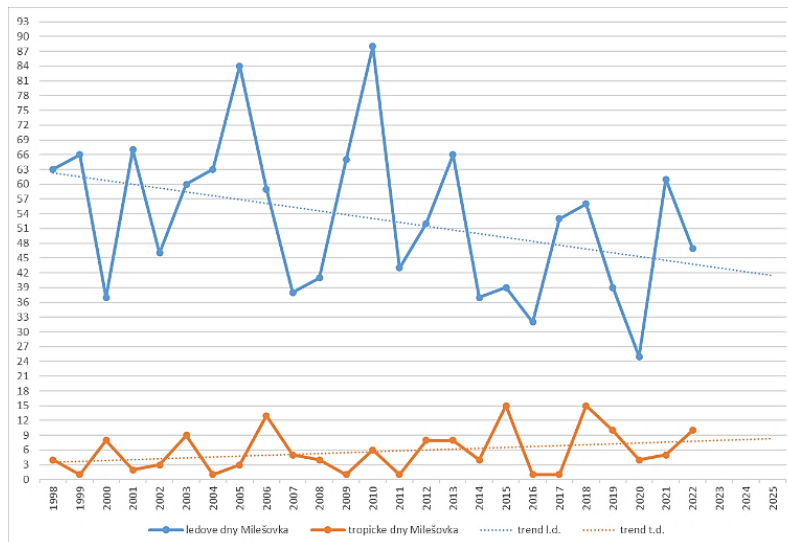
Pro porovnání ledových (modrá křivka) a tropických (oranžová křivka) dní jsme využili data z let 1998-2022 pro výše vypsané meteorologické stanice. Pro odhad budoucích změn jsme využili lineární spojnicí trendu do budoucích 3 let. Z grafů níže (**Obr. 47, 48 49**) jasně vyplývá narůstající počet tropických dní oproti klesajícímu počtu dní ledových. Tento fakt byl zaznamenán na všech třech vybraných stanicích. U Brna jakožto zástupce jedné z teplejších oblastí Moravy a zástupce i velkého městského osídlení se tento budoucí vývoj značí jako nejmarkantnější.



Obrázek 46: Porovnání tropických a ledových dní na stanici Kocelovice (ČHMÚ 2023)



Obrázek 47: Porovnání tropických a ledových dní na stanici Brno - Tuřany (ČHMÚ 2023)



Obrázek 48: Porovnání tropických a ledových dní na stanici Milešovka (ČHMÚ 2023)

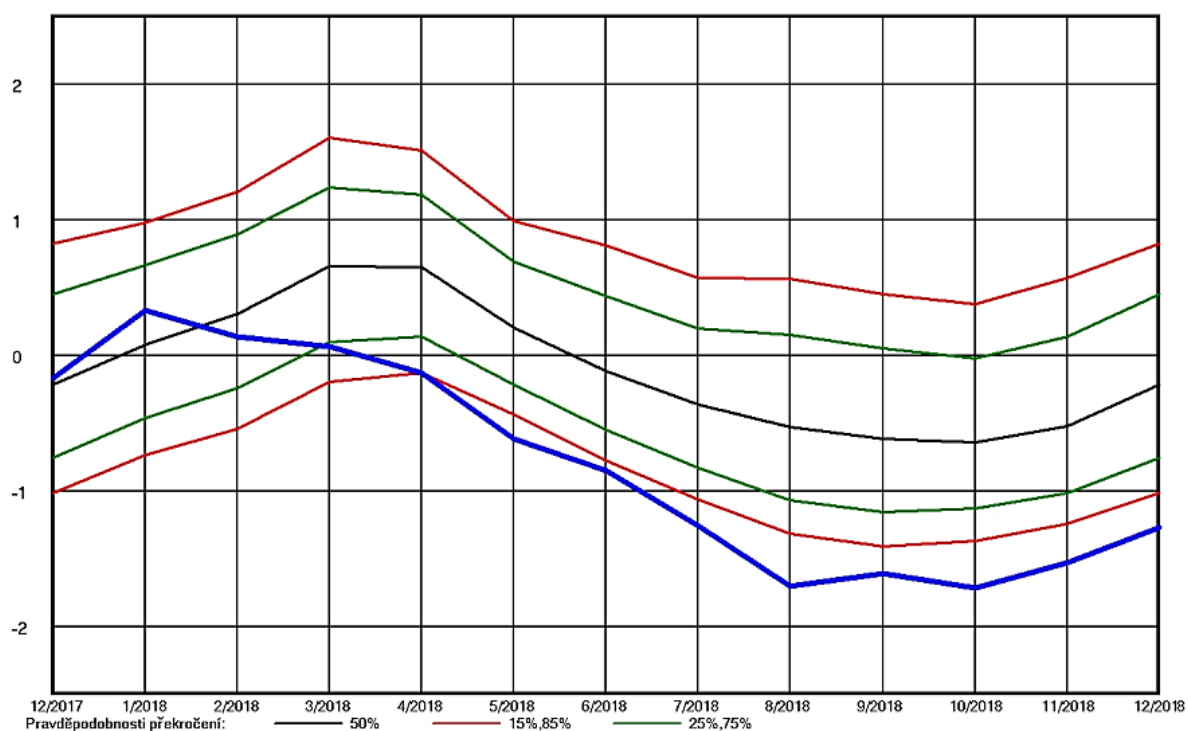
Počty ledových i tropických dní každoročně kolísají, i přesto je však patrný trend, který pro tropické dny znamená nárůst a pro ledové pokles. V průměru za celou ČR za posledních 6 dekad přibylo za každou dekadu 1,1 tropického dne a ubylo 2,4 ledového dne. Z grafu je však patrné, že trend je v poslední dekádě rychlejší.

Pokles nebo nárůst těchto epizod není ale sám o sobě natolik důležitý jako v době vegetace, zvláště v jarním období – při kvetení. Delší než několik desítek minut dlouhá expozice teplotám pod bod mrazu, je například stálou hrozbou v ovocnářství a vinohradnictví (eAGRI 2017).

Pro naše stanice a měření teplot minimálních jsme si vybrali měsíce březen, duben, květen v období 2012-2022. Zaznamenali jsme zde celkem 178 mrazových dní ve stanici Brno – Tuřany, nejméně v roce 2014, 2017 a 2019 v počtu 7 a nejvíce v roce 2021 v počtu 28 a roce v 2022 v počtu 26. V meteorologické stanici Kocelovice bylo celkem 224 mrazových dní z toho nejméně v roce 2019 (12) a v roce 2022 (0), nejvíce v roce 2021 (36) a 2013 (34). V posledním našem reprezentativním vzorku naměřených hodnot byla stanice Milešovka s celkovým počtem mrazových dní 279, nejméně v roce 2014 (9), nejvíce v roce 2021 (41). Počet mrazových dní byl pro všechny stanice kolem hodnoty 200. V roce 2021 jsme jich zaznamenali celkově nejvíce, a v roce 2022 dokonce ani jeden.

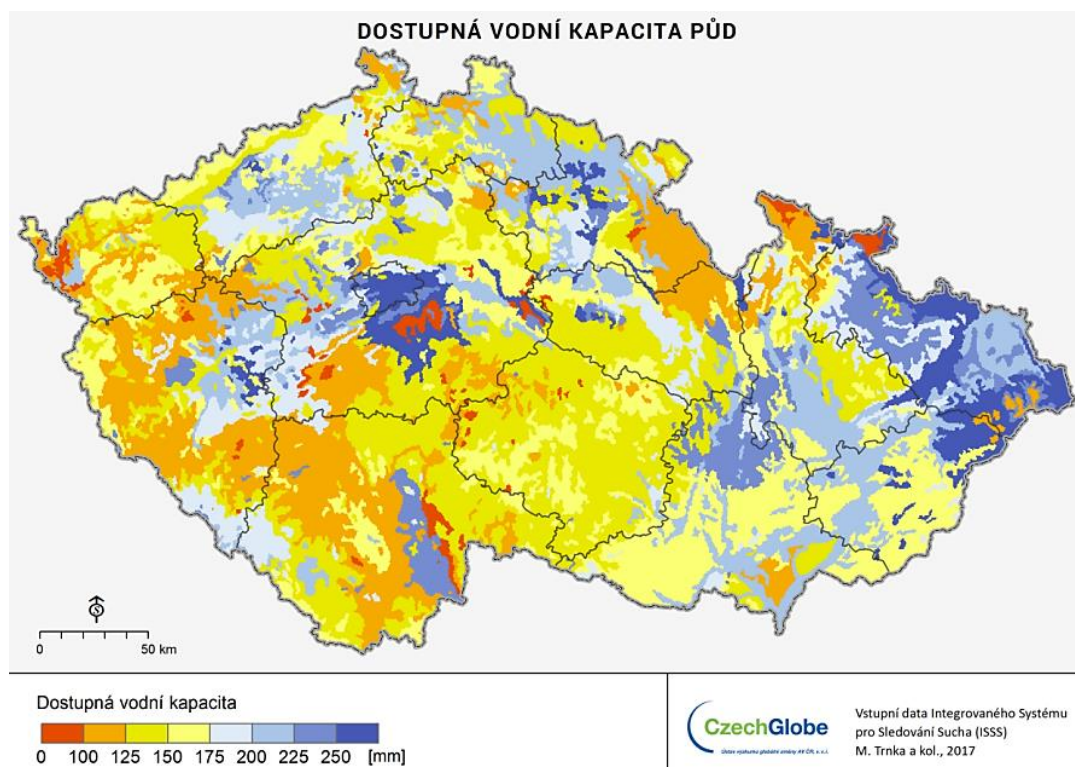
Rok 2018 byl z hlediska celkových srážkových úhrnů druhým nejsušším rokem od samotného počátku vyhodnocování meteorologických charakteristik vůbec, a to od roku 1961. Před ním je jen rok 2003. Celkově bylo letní období roku 2018 společně s rokem 2003 nejteplejším od počátků měření. Rok 2018 byl současně pátým suchým rokem v řadě. Hydrologické projevy sucha v podobě stavu povrchových a podzemních vod byly na velké části území zatím nejextrémnější. Podle percentilů dlouhodobých charakteristik, vyznačených v grafu, nastávají obvyklá roční maxima v jarním období (březen, duben). Na jaře v roce 2018 však byla hladina vody (modrá čára) velmi nízká a už na konci dubna se hladiny ocitly na téměř polovině hodnot (85% pravděpodobnosti překročení), tedy na úrovni silného sucha. Ani další měsíce nepřinesly zlepšení a úroveň mělkých hladin klesala s větší intenzitou, než je pro dané období obvyklé **viz Obr. 50**. Modrá křivka nám ukazuje rok 2018 vůči stavu podzemních vod ve srovnání s dlouhodobými hodnotami 1981-2010. Na svislé ose je zanesena směrodatná

odchylka. Pravděpodobnost překročení v 50 % je zelená křivka, 25 % zelená a 85 % červeně (ČHMÚ 2021).



Obrázek 49: Průměrná standardizovaná úroveň hladin vod celé ČR v roce 2018 (ČHMÚ 2021)

Po předchozích dvou letech, kdy byla sklizeň negativně ovlivněna pozdními jarními mrazy, přinesl rok 2018 extrémně vysoké teploty a katastrofální nedostatek dešťových srážek. Od února 2018 byl na většině území ČR pozorován srážkový deficit, který pak v průběhu vegetace zásadním způsobem ovlivnil sklizeň. Na **Obr. 51** níže vidíme možnost využití jedné z předpovědních metod, která může pomoci předpovědět půdní vlhkost a intenzitu sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě. Je zde vidět stav vody v půdě v ČR, kterým se zohledňuje množství srážek, výparu a odtoku. Jedná se o monitoring množství vody, které je případně k použití, aby nedošlo k jejímu vyčerpání a zároveň bylo jasné, jaký deficit a na jakém místě vzniká. Tento monitoring změn prostředí se tak může zařadit do adaptačních řešení v rámci Podpory metod pro ochranu půdy, Podpory zadržování vody v krajině a hospodaření s touto vodou nebo Budování monitorovacích systémů.

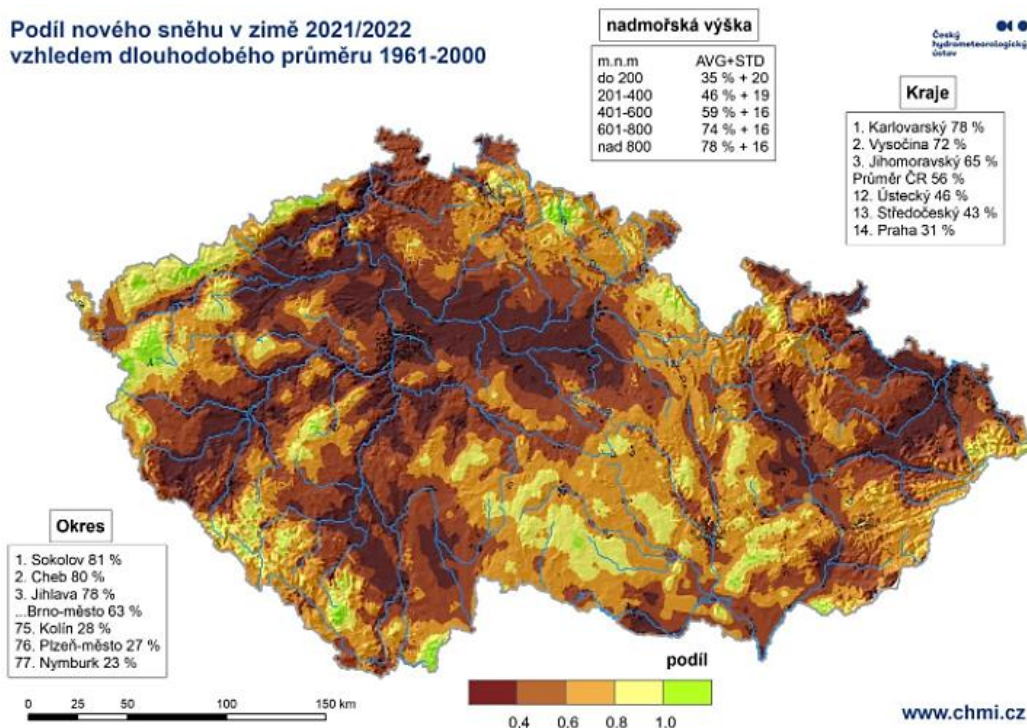


Obrázek 50: Ukázka možností Monitoringu nepříznivých vlivů počasí v ČR (Trnka et al. 2017)

Naproti tomu rok 2021 byl na území ČR první teplotně normální rok od roku 2013. V hodnocení průměrné roční teploty vzduchu se tak stal druhým nejchladnějším měsícem po roce 1996. Chladnější byl jen rok 2010 s průměrnou roční teplotou 7,4 °C. Jeho průměrná roční teplota vzduchu (8,0 °C) byla o 0,1 °C vyšší než normál 1981–2010 (7,9 °C). Normál 8,3 °C z let 1991–2020 rok 2021 převyšoval o 0,3 °C. Předěšlé tři roky byly o více než 1,0 °C teplejší. Průměrná teplota pro rok 2020 byla 9,1 °C, pro rok 2019 9,5 °C a 9,6 °C pro rok 2018. Srážkově byl rok 2021 oproti předešlým letům normální. V průměrném roční úhrnu srážek 683 mm se jedná o téměř 100 % normálu z obou období 1981–2010 i 1991–2020. Pod-normálové měsíce roku byly hodnoceny jen březen (58 % normálu), říjen (44 % normálu) a silně suché září (40 % normálu). Nad-normálové byly měsíce květen (143 % normálu) a srpen (133 % normálu) (MZe 2020; ČHMÚ 2023).

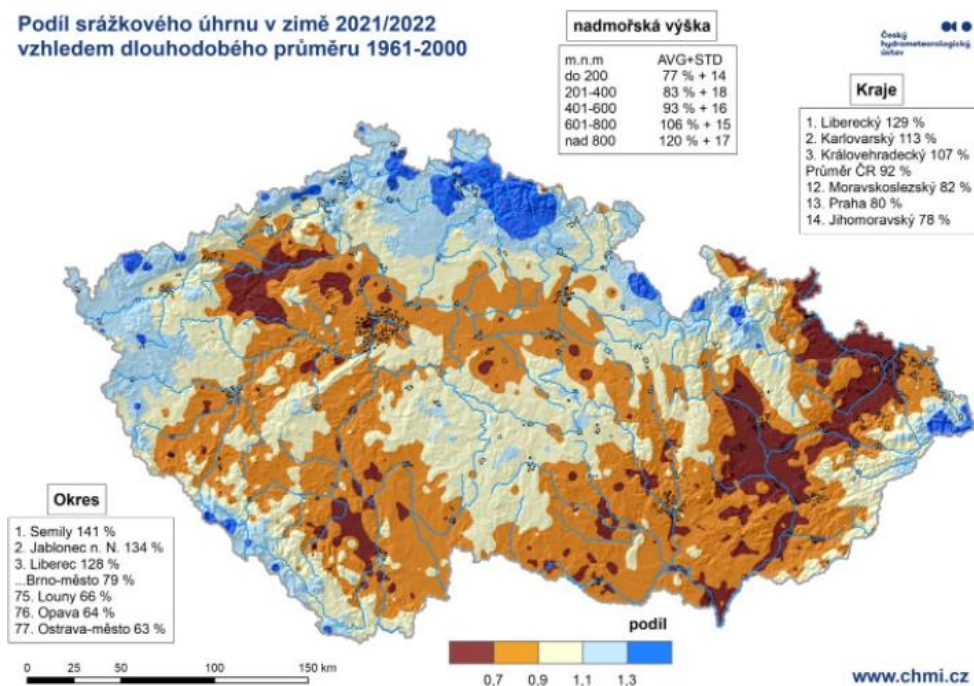
Rok 2022 se stal se svoji průměrnou teplotou 9,2 °C dalším abnormálně teplým rokem. Od normálu let 1991–2020 to znamenalo odchylku +0,9 °C a od dlouhodobého normálu 1981–2010 je to +1,3 °C. Teplotní odchylka od normálu 1991–2020 v jednotlivých měsících kolísala od +3,2 °C v únoru až po –2,1 °C v dubnu. S úhrnem srážek 632 mm je ale tento rok v porovnání s normálem 1991–2020 (684 mm) mírně pod-normálový. Nejvíce srážek jakožto 123 % normálu spadlo v červnu a nejméně (35 %) normálu, v březnu. Podíl nového sněhu byl také pod-normálový **viz Obr. 52** (ČHMÚ 2022).

**Podíl nového sněhu v zimě 2021/2022
vzhledem dlouhodobému průměru 1961-2000**



Obrázek 51: Podíl nového sněhu v zimě 2021/ 2022 (ČHMÚ 2022)

Zima 2021/ 2022 byla jedna z nejteplejších, což můžeme vidět na nedostatečné sněhové pokrývce. Průměrná zimní teplota vzduchu byla o 2,9 °C vyšší, než je dlouhodobý průměr 1961-2000. Srážky padaly místo sněhu ve formě deště. S menší výškou a kratší dobou sněhové pokrývky vzrůstá zvláště v nižších polohách pravděpodobnost poškození plodin vymrzáním (zmrznutí vody v rostlině a potrhání pletiv), případně střídáním teplejších a chladnějších období (předčasná ztráta mrazuvzdornosti, vytahování rostlin). Více se objevuje i vyležení (předčasný sníh na podzim) a zvláště vymáčení (vodní laguny na polích na jaře). Adaptační opatření v zemědělství je šlechtění a následně pěstování mrazuvzdorných odrůd, významný vliv má podzimní správná výživa. Stejně tak je nutné využívat v ČR dobře nastavených nástrojů pojištění (Zahradníček 2022).



Obrázek 52: Podíl srážek v zimě 2021/ 2022 (Zahradníček 2022)

Zimní podmínky představují kritické období pro redukci počtu rostlin, ale i pro jejich následnou produkční schopnost. Působením zimních meteorologických faktorů (nízká teplota, srážky) jsou vyvolány pochody přizpůsobování se. Je-li působení nepříznivých zimních podmínek příliš intenzivní, dlouhodobé nebo dokonce dlouhodobě intenzivní (několikadenní holomrazy), dochází k poškození a úhynu rostlin. Výskyt sněhové pokrývky napomáhá přezimování ozimů za silných mrazů, kdy se pod sněhovou pokrývkou stabilně udržují relativně vyšší teploty. Na druhou stranu je dlouhodobé přezimování pod sněhem pro rostliny značně energeticky náročné a v předjaří jsou více náchylné např. vůči plísňovým chorobám.

Pro zemědělství, lesnictví ani hydrologii není důležité množství srážek. Problémem je totiž nedostatek dostatečného množství deštivých srážek v zimě a absence akumulace vody ve sněhu s následným postupným jarním odtáváním; na to navazující zřejmý úbytek srážek v dubnu-červnu je pak zásadním problémem v době vegetační sezóny. Adaptace v zemědělství a hydrologii je podpora mikrozvlah, budování zádržných nejlépe propojených nádrží, a především šlechtění suchovzdorných odrůd (Zahradníček 2022).

Diskuze

Ve studii Koláře (2010), která se zabývala na první pohled podobným tématem ohledně extrémních vlivů počasí na zemědělské plodiny pro oblast Jižní Moravy, se můžeme například dozvědět o počtu dní s holomrazy, včetně jejich kategorizace podle intenzity v závislosti na minimálních denních teplotách nebo vzduchu. Kolář zde prezentuje počty těchto dnů a uvádí závěr, že počtu dnů s holomrazy

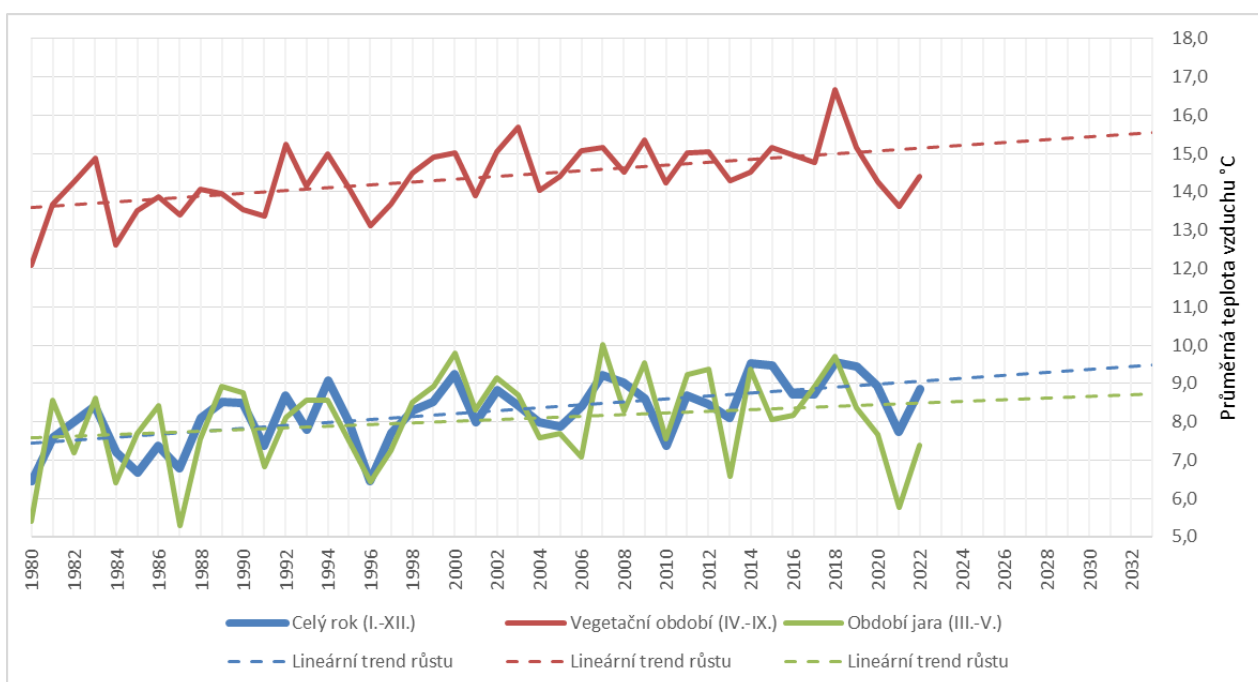
ubývá, na čemž se podílí zejména vyšší zimní teploty, kdy klesá počet dnů splňujících podmínku výskytu holomrazu (dny s minimální teplotou vzduchu $\leq -5^{\circ}\text{C}$) a že působení pozdních mrazů je vyjádřeno počtem mrazových dní (dny s minimální teplotou vzduchu $< 0^{\circ}\text{C}$) v průběhu jarních měsíců dubna a května. V rámci své práce nemohu potvrdit ubývání počtu holomrazů. Oteplování v zimních měsících je v posledních pěti letech patrné, na základě toho ubývá dní se sněhovou pokrývkou, sníh se mění v déšť a holomrazů naopak přibývá. V tomto ohledu se počasí stává extrémnějším v přechodech mezi přílivem studeného a teplého vzduchu. Častěji se tedy můžeme dočkat holomrazů, kdy se k nám dostane velmi chladný, ale suchý vzduch a půda je bez sněhové pokrývky.

Dle studie Zahradníček et al. (2021), která porovnávala 60leté období 1961–2020 rozdělené na dvě poloviny mezi roky 1961–1990 a 1991–2020, lze tvrdit, že neustále řešená teplotní maxima a minima v souvislosti s globálním oteplováním a různými klimatickými scénáři (Lhotka et al. 2018 nebo Cardell et al. 2020), jsou statisticky velmi významné rostoucí trendy posledních let. Zatímco extrémní teplotní minima se soustředila hlavně v letech 1961–1990, extrémní teplotní maxima se soustředila spíše v letech 1991–2020. Tendence také ukazují, že průměrné roční počty letních a tropických dní a dnů s tropickou nocí se zvyšují, zatímco mrazové a ledové dny postupně ubývají. Například počet letních dní v 900 m nad mořem byl v letech 1991–2020 dvojnásobný oproti letům 1961–1990. Zatímco pod 300 m.n.m. byl tento nárůst pouze 40,5 %. Velmi výrazně narůstají maximální teploty vzduchu. V současnosti se vyskytuje 3x více letních dnů s max. teplotami nad 25°C a tropických dnů s max. teplotami nad 30°C (Žalud 2021). V nižších polohách se to může odrazit v dopadu na evapotranspiraci, povrch se stane sušším dříve, rostliny začnou dříve přijímat půdní vodu a celé to pak může přispět k jarnímu suchu (Žalud et al. 2020).

5.2 Vyhodnocení pro jednotlivé plodiny

Z dat jsme vypořizovali pozdní jarní mrazy v roce 2016, 2017 a 2019 anebo suché periody v letech 2015, 2018 a 2022.

Zde můžeme vidět, že ČR trápí sucha trvajících převážně v období od dubna do června, která mají výrazný dopad na téměř všechny studované plodiny, jen u kukuřice jsou sucha závažným problémem až na konci léta. U obilovin mají extrémní vlivy na diferenciaci vzrostných vrcholů, u kukuřice byla zjištěna schopnost stabilně odolávat vysokým teplotám, avšak bez efektivního využití minimalizace zpracování půdy se může stát erozní plodinou. Chmel je velmi citlivý na téměř všechny výše zmíněné extrémní vlivy. Vinná réva je lépe přizpůsobena vyšším teplotám a díky hlubokému kořenovému systému dokáže lépe čelit nedostatku srážek. U révy vinné dochází k nárůstu cukernatosti v souvislosti s narůstající teplotou. Meruňky jsou na tom z našeho výběru plodin nejhůře, mráz pro ně bývá silně devastační. Důležitá je znalost evapotranspirace plodin (ET), která je jedním z nejdůležitějších faktorů při porozumění využívání vody v rostlinách, plánování zavlažování, správném řízení vodních zdrojů, produkci plodin a ochraně vody. V reakci na sucho rostliny vykazují sníženou rychlost transpirace a vodního potenciálu při snížené dostupnosti vody, dochází k poklesu fotosyntézy v důsledku omezení dýchání a silnému poklesu fotosyntetických proteinů a proteinů energetického metabolismu, což výrazně ovlivňuje všeobecnou zdatnost rostlin. V průběhu vegetačního období rostlin je tedy nezbytným předpokladem kvalitního vývoje a následné dobré výnosové úrovně dostatečné množství vláhy. Vodní stres je zesilován působením vysokých teplot vzduchu za vzniku sucha popsaného výše.



Obrázek 53: Lineární trend růstu průměrných ročních teplot od roku 1980 do 2032 (ČHMÚ 2023).

Na Obr. 54 je znázorněn lineární trend teplot ve dvou důležitých období pro rostliny v porovnání s ročním průběhem teplot. Pro období jara v rozmezí tří měsíců od března do května, kdy rostliny mají vyšší požadavky na vláhu a minerály pro svůj dobrý budoucí růst a ve vegetačním období

v rozmezí šesti měsíců od dubna do září, kdy jsou schopny vytvořit velké množství biomasy pro dobrý výnos. Ve všech třech obdobích je jasně vidět růstový trend v podobě navyšování průměrných teplot.

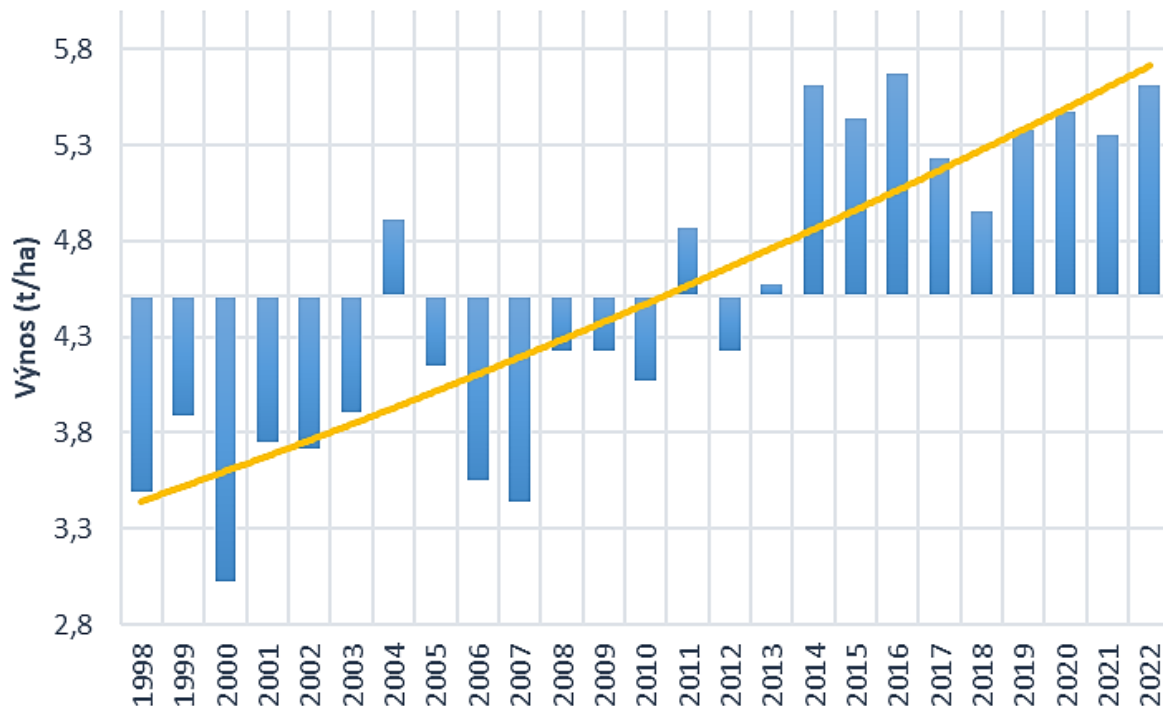
S postupným oteplováním očekáváme i nárůst délky vegetační sezóny doprovázené jejím dřívějším začátkem a pozdějším koncem. Tento jev přinese problémy s vpády studeného vzduchu na jaře (advektivní mraz) a výskytem inverzí (radiační mraz). V zemědělské meteorologii se dle Uhlíře (1961) rozlišují vegetační mrazy slabé (teplota na povrchu půdy poklesne na $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$), silné ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$), popř. velmi silné ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$). Adaptací především pro citlivé plodiny (sady, vinice apod.) je instalace protimrazových opatření.

5.2.1 Analýza pěstování obilovin

Jarní ječmen byl použit k reprezentaci jarních obilovin a ozimá pšenice k reprezentaci obilovin ozimých. Ozimá forma pšenice má potřebu tzv. jarovizace. Ta je spojena s dlouhodobým působením nízkých teplot, během kterých dochází k inhibici vývoje. Je tedy nutná pro přechod z vegetativní do generativní fáze rostliny v jarním období. Pro vývoj jarního ječmene potřeba jarovizace není. U výnosů jsou vidět rozdíly v případě nedostatku vody. Ječmen trpí tímto nedostatkem větší měrou než ozimá pšenice. Nicméně sucho stejně pro obě tyto formy znamená výnosový propad. Ječmen jarní je suchem postihován více na jaře (duben–červen), pšenice ozimá na podzim (září–říjen). Jednou z nejcitlivějších vývojových fází plodiny je období od počátku odnožování do počátku metání, především z důvodu dostatečného rozvoje asimilačního aparátu a kvalitní organogeneze vzrostného vrcholu. Extrémní počasí má vliv na diferenciaci těchto vzrostných vrcholů (eAgri 2022; MZe 2022).

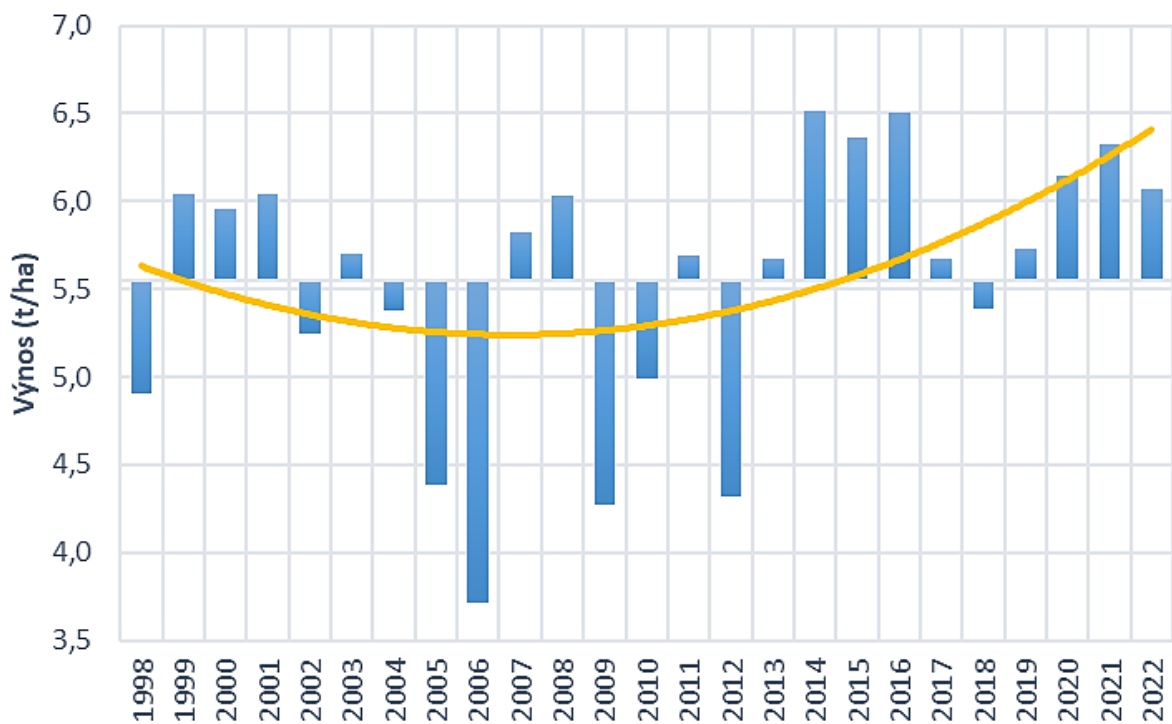
U obilovin je také podstatnou součástí tvorby výnosu odnožování. Nejvhodnější rozpětí průměrných teplot vzduchu je $8\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro jarní ječmen a $8\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro ozimou pšenici, u níž začíná odnožování ve většině případů ještě na podzim (agropocasi 2023).

Na **Obr. 55** žlutě vyznačená spojnice trendu znázorňuje odchylku od průměru hodnot ročních hektarových výnosů ječmene s hodnotou $4,51\text{ t/ha}$. U ječmen jako u jediné z vybraných plodin vidíme nepřetržitý nárůst od roku 2014.



Obrázek 54: Výnosy ječmene od roku 1998 (ČSÚ 2023)

Na **Obr. 56** žlutě vyznačená spojnice trendu znázorňuje odchylku od průměru hodnot ročních hektarových výnosů pšenice s hodnotou 5,55 t/ha. Můžeme zde vidět nárůst podobný jako u ječmene akorát s výchytkou roku 2018, které na pšenici negativně zapůsobilo vlivem sucha.



Obrázek 55: Výnosy pšenice od roku 1998 (ČSÚ 2023)

Klíčít začíná pšenice při teplotě 3–4 °C, ale růstové procesy v rostlinách začínají při 6 °C. Vyšší srážky a teplota vzduchu podporuje růst nadzemní biomasy, které vyhovují nižší teploty a srážky v květnu a červnu. Chladný březen a duben s nízkými srážkami růst sušiny zpomaluje. Vyšší teploty a srážky jsou potřebné v červenci k nárůstu sušiny. Vyšší výnos bývá dosažen s pomalejším nárůstem sušiny ve vegetativním období a s vyšší produkcí sušiny v generativním období. Snížením výnosu se projeví zkrácení fenofází v důsledku zvýšení teploty vzduchu v období formování obilek a ukládání asimilátů. Pro správnou tvorbu asimilačního aparátu se jako nejdůležitější jeví teplejší a srážkově normální březen, teplejší a srážkově nadnormální duben, chladnější a srážkově normální až mírně podnormální květen, teplotně normální a srážkově podnormální červen, teplotně mírně podnormální a srážkově mírně nadnormální červenec. Vyšší srážky v červnu a červenci napomáhají prodloužení délky trvání funkce asimilačního aparátu. Při nepříznivém chodu meteorologických prvků je dynamika tvorby listového aparátu nedostatečná. Chladný a suchý březen a duben zpomalují růst listové plochy tak, že optimální struktury je dosaženo výrazně později. Srážkově nadnormální květen a červen může způsobit extrémní nárůst listové plochy, který vede k zastínění porostu a jeho následnému odumírání s rychlým poklesem indexu listové pokrývnosti (LAI), což se s vysokou pravděpodobností negativně projeví na hospodářském výnosu (eAgri 2022; MZe 2022).

K dobrému založení porostů ozimů do nástupu zimy by měla suma srážek do 15. listopadu činit 70–110 mm a suma aktivních teplot (> 5 °C) by se měla pohybovat v intervalu 600–720 °C. Vyšší podzimní teploty vzduchu a nižší srážkové úhrny působí negativně. Stejně tak působí vysoké srážky, které v pozdním podzimu a předjaří vedou k tzv. vymokání porostů. Podzimní přemokření navíc významně snižuje odolnost vůči mrazům a celkovou schopnost přezimování. Teplý a vlhký podzim s sebou nese v případě časného setí riziko tzv. přerůstání porostů, kdy rostliny přesáhnou 4. růstovou fázi a III.–IV. etapu organogeneze vzrostného vrcholu. K eliminaci přerůstání je třeba zasít v optimálním čase (druhá dekáda září – konec října) (Venclová 2021).

Extrémně vysoké teploty mohou mít negativní vliv na hmotnost a kvalitu zrn, protože menší obsah vody může způsobit ztrátu hmotnosti.

Počátek generativního období je spojen s obdobím tzv. sloupkování, které u ozimů většinou probíhá v druhé polovině dubna a v první dekádě května. U jarního ječmene probíhá toto období až v květnu. Bylo prokázáno, že čím delší a pomalejší je období diferenciací základu klasu, tím více klásků a kvítků se založí a později realizuje. Vliv počasí na kvantitativní založení počtu klasů a počtu zrn v klasu je v tomto období rozhodující. Žádoucí je takový průběh počasí, který zpomaluje rychlost vývoje, protože tento jev působí příznivě na množství odnoží a jejich vyrovnaný vývoj. Chladnější a vlhčí počasí zvyšuje pravděpodobnost, že založené odnože budou z větší části plodné, a že neplodné odnože odumrou později, takže budou schopny déle přivádět asimiláty do plodných odnoží. Příčinou vyšší míry odumírání odnoží, navíc v krátkém čase, bývá nejčastěji sucho. V nejteplejších oblastech má půdní vláhota na neplodnost a nedostatečnou výživu odnoží mnohem větší vliv než například vysoké teploty vzduchu. V mírných a chladnějších zemědělských regionech má na tvorbu odnoží a jejich redukci větší vliv sluneční záření, intenzita fotosyntézy, teplota vzduchu, srážky, délka období odnožování a sloupkování. Velmi přitom záleží na dostatku a rovnoměrném rozložení srážek v květnu, kdy by v jednotlivých dekádách mělo napršet minimálně 25 mm. V období III. etapy je výhodná nižší teplota vzduchu (6–8 °C) oproti dlouhodobému průměru, kdy se založí větší počet klásků a kvítků. Naopak vyšší teplota vzduchu spolu s nedostatkem vláhota, a tudíž i živin, urychluje vývoj a zkracuje období diferenciací. To vede k založení krátkého klasu s menším počtem kvítků. O konečném počtu zrn v klasu rozhoduje proces redukce založených kvítků, který probíhá od VI. do VII. etapy organogeneze.

Stupeň redukce se liší v závislosti na druhu či odrůdě plodiny, nicméně platí, že redukce stoupá při vyšších teplotách (cca 24 °C a více), vysušných větrech, vodním deficitu a nižší intenzitě osvětlení při zamračeném počasí. Z mnoha jiných studií vyplynulo, že chladnější a vlhčí období zhruba od poloviny dubna do konce května pozitivně ovlivňuje dvě podstatné složky konečného výnosu zrna, a to počet zrn v klasu a hmotnost 1000 zrn (Prášil 2021).

Mezi adaptivní opatření pro obilniny patří například výběr vhodných odrůd obilnin, které jsou přizpůsobeny místním klimatickým podmínkám a mají vyšší odolnost vůči chorobám a škůdcům. Dále je důležité zlepšit půdní kvalitu, což se dá docílit například vhodným hnojením a využitím zeleného hnojení nebo již zmíněné minimalizační metody. Jedním z nejefektivnějších opatření je zavlažování, které pomáhá zvýšit produkci obilnin i v oblastech, kde je málo srážek. Kromě toho se v poslední době objevují nové technologie, jako jsou precizní zemědělství, využívání družicových snímků a další, které umožňují efektivněji plánovat a řídit zemědělskou produkci (Chloupek et al. 2004).

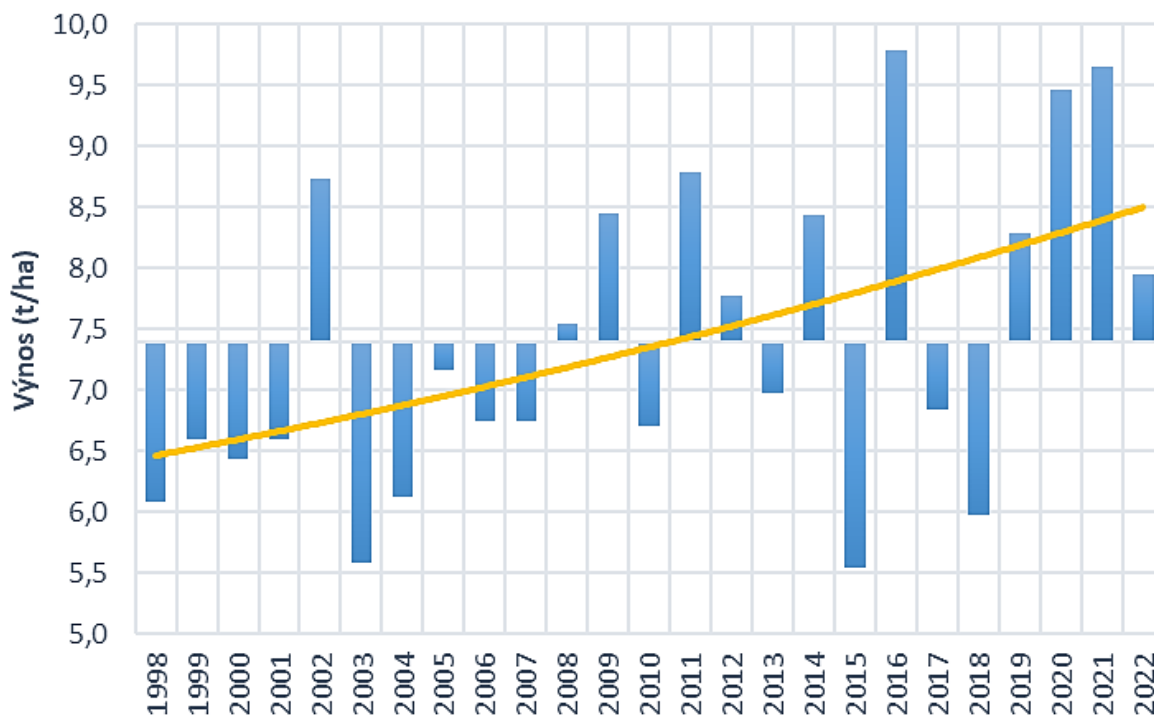
Adaptivními opatřeními pro obilniny jsou tedy:

- Využití speciálních herbicidů a pesticidů, které chrání rostliny před chorobami a škůdci.
- Výsev obilnin v optimálním termínu, aby se minimalizovalo riziko poškození rostlin mrazem nebo extrémními teplotami.
- Používání speciálních postupů při sklizni obilnin, které minimalizují ztráty a škody na kvalitě obilnin

5.2.2 Analýza pěstování kukuřice

U kukuřice jsme prokázali udržitelnost zemědělských postupů zpracování půdy v podobě nově zavedených minimalizačních procesů.

Žlutě vyznačená spojnice trendu znázorňuje odchylku od průměru hodnot ročních hektarových výnosů s hodnotou 7,40 t/ha **viz Obr. 57**. Na grafu můžeme také jasně vidět průběžný pozitivní výnos kukuřice se zaznamenaným propadem výnosu v roce 2022.



Obrázek 56: Výnosy kukuřice od roku 1998 (ČSÚ 2023)

Bylo zjištěno, že kukuřice na zrna, ačkoli je v ČR stále považovaná za neperspektivní plodinu, při využití šetrnějších minimalizačních metod zpracování půdy zároveň s využitím její vlastní biomasy v podobě kukuřičné slámy, patří mezi málo plodin, které jsou schopné stabilně odolávat velkým výkyvům počasí v dobách klimatických změn. Zapravování kukuřičné slámy po sklizni zpět do půdy je pro půdu velmi prospěšné, zabraňuje se tím výparu zbytečné vody. Primární organická hmota zlepšuje hospodaření půdy s vláhou, zadržuje vodu v půdě, zlepšuje půdní strukturu a zamezuje neproduktivnímu výparu vody. Kukuřičná sláma dále podporuje humifikaci a mineralizaci vnáší zpět do půdy velké množství živin. Organická hmota je základním klíčem k eliminaci výkyvů počasí v jednotlivých ročnících, které přináší klimatická změna. Velmi výhodné je přesunout pěstování kukuřice na zrna do všech lokalit řepařské a obilnářské výroby. Do těchto oblastí pak přinese jistotu vyšších výnosů a pro pozemky, na nichž se kukuřice pěstuje, i velký přísun organické hmoty. Kukuřice je totiž plodinou, která je pro měnící se klimatické podmínky, které se stávají součástí našich životů, nejvíce vhodná. Vzhledem k produkci sušiny je schopná přispět k ozelenění krajiny a dokáže zmírnit vysušenou krajinu v průběhu srpna. Minimalizační technologie při zakládání jejich porostů jsou schopné velmi účinně vyřešit problém s vodní erozí půdy, která se neodmyslitelně také pojí se uvedenými změnami klimatu:

Metoda strip-till = Půdoochranné technologie pěstování širokořádkových plodin, které splňují standardy DZES vypsáné v protierozním plánu MZe. Strip-till se vyznačuje technologií jednoho přejezdu zpracování půdy. Souprava, která provádí pásové zpracování půdy, je osazena navigací RTK s přesností na 1–2 cm a je zde použit autopilot. Autopilot zaznamenává křivky jízdy stroje, podle kterých je pozemek zpracováván. Nahraná data slouží k následnému setí, které probíhá mezi 4 až 8 dny po zpracování půdy. Secí stroj seje kukuřici ve stejných liniích, jako bylo provedeno zpracování půdy. Secí stroj se na pozemku chová standardně, neboť vodící koltry kopírují zpracované pásy půdy a jedou v kypré půdě bez snahy opouštět zpracovaný prostor. Technologie je dostatečně adekvátní k ochraně

půdy před vodní erozi. Do budoucna se naskýtá možnost k technologii strip-till připojit aplikaci kapalného hnojiva. Aplikace bude možná jak na podzim, tak i na jaře. Už dnes v některých podnicích probíhá aplikace hnojiva (kejda, digestát, fugát) přímo do zpracovávaného pásu (Herout 2017).

Metoda no-till (direct-drilling, zero-tillage) = půda je zpracovávána pouze při setí, ochrana proti plevelům je prováděna pomocí herbicidů.

Metoda ridge-till (zpracování půdy s vytvořením hrůbků) = do hrůbků o výšce 100–150 mm jsou vysety širokořádkové plodiny (např. kukuřice). Ochrana proti plevelům je prováděna pomocí herbicidů a kultivací. Vytvořené hrůbky mohou zůstat na pozemku i několik sezon, v jiném případě jsou každoročně obnovovány. Významná část rostlinných zbytků zůstává po zasetí na povrchu půdy (Novák & Mašek 2020) viz Obr. 58.

Závěrem lze konstatovat, že na stejné lokalitě, půdě a plodině lze jen s využitím jiného managementu snížit případnou vodní erozi způsobenou prudkými přívalovými dešti a vysokými teplotami až o více než 90 % a snížit odtok vody z pozemku až o více než 60 %.



Obrázek 57: Profil pásu při podzimním zpracování půdy – voda stéká do žlábků (Kincl 2018)

Pásové zpracování půdy strojem ECOTiller je jako další vhodná metoda minimalizačního zpracování půdy pro kukuřici. Jsou zde tvořeny hloubkové pásy hlubší jak běžné dráhy po traktoru, které jsou tvořeny přesně podle potřeb plodiny. Pásová zpracování půdy může zlepšit růst a vývoj plodin tím, že umožní hlubší pronikání kořenů do půdy, což zlepší přísun vody a živin. Stroj je vybaven několika pracovními prvky naráz, které umožňují řídit hloubku zpracování, tvarovat zpracovávané plochy, odstraňovat plevele a odstraňovat nežádoucí kompaktnost půdy. Stroj také snižuje množství plevelů a zlepšuje mikrobiální aktivitu v půdě, což je klíčové pro zdravý růst plodin. Metoda je ekologické a udržitelné řešení i vzhledem ke spotřebě paliva, pesticidů a herbicidů. Poměrně vysoká účinnost a výkonnost stroje je dána možností přizpůsobit se různým typům půd (Kincl 2018).

Následující tabulka znázorňuje vzájemnou spojitost mezi výnosem kukuřice na zrno, průměrnou měsíční teplotou, průměrnými měsíčními srážkami a deficitem vody v krajině pro všechny kraje ČR. Pro 9 regionů ze 14 je viditelná nízká negativní korelace teplot od $-0,34$ do $-0,5$ pro měsíc červenec. Ve srážkách byla v červenci korelace pozitivní od $0,54$ do $0,79$ téměř ve všech krajích. Také je zřetelná nízká až střední negativní korelace mezi výnosem kukuřice a srpnovou teplotou ve 13 ze 14 regionů, a to v hodnotách od $-0,39$ do $-0,51$, přičemž srážky byly opět pozitivní. Deficit vody vykazoval negativní korelaci jak s výnosem v červenci, tak v srpnu, a to téměř ve všech krajích. Kromě Karlovarského kraje zde byla nízká až vysoká negativní korelace od $-0,38$ do $-0,71$ v červenci a nízká až vysoká negativní korelace od $-0,30$ do $-0,71$ v srpnu pro 12 ze 14 regionů. Tabulka korelací nám

jasně ukazuje vzájemný vztah vody v krajině po srážkách a teplot ve vegetačním období kukuřice ČR (ČHMÚ 2023).

	Teplota				Srážky				Vodní deficit			
	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Květen	Červen	Červenec	Srpen
Hlavní město Praha	-0.09	-0.14	-0.38	-0.44	0.06	-0.18	0.72	-0.01	-0.15	0.13	-0.64	-0.26
Středočeský kraj	0.18	0.09	-0.44	-0.51	-0.02	-0.25	0.79	0.06	0.02	0.24	-0.71	-0.33
Jihočeský kraj	0.44	0.30	-0.44	-0.39	-0.27	-0.15	0.69	0.62	0.32	0.22	-0.68	-0.71
Plzeňský kraj	0.40	0.28	-0.50	-0.43	-0.11	0.04	0.69	0.34	0.20	0.03	-0.68	-0.49
Karlovarský kraj	0.43	0.33	-0.36	-0.26	-0.10	-0.12	0.23	0.38	0.19	0.21	-0.20	-0.44
Ústecký kraj	0.14	0.02	-0.38	-0.51	-0.05	-0.08	0.66	0.10	0.04	0.07	-0.65	-0.31
Liberecký kraj	0.44	0.28	-0.21	-0.39	-0.05	-0.15	0.47	0.21	0.17	0.22	-0.38	-0.32
Královhradecký kraj	0.18	0.04	-0.27	-0.44	-0.08	-0.09	0.61	0.13	0.09	0.15	-0.51	-0.30
Pardubický kraj	0.30	0.13	-0.34	-0.47	-0.06	-0.01	0.66	0.08	0.11	0.05	-0.59	-0.31
Kraj Vysočina	0.42	0.23	-0.38	-0.37	-0.23	-0.01	0.57	0.36	0.16	0.10	-0.58	-0.50
Jihomoravský kraj	-0.03	-0.01	-0.35	-0.48	-0.03	-0.04	0.71	0.02	-0.08	0.03	-0.66	-0.24
Zlínský kraj	0.17	0.03	-0.24	-0.42	-0.09	0.11	0.67	0.07	0.04	-0.06	-0.68	-0.34
Moravskoslezský kraj	0.37	0.19	-0.20	-0.43	-0.02	0.13	0.54	0.42	0.05	-0.04	-0.58	-0.55
Olomoucký kraj	0.11	0.05	-0.25	-0.44	0.02	0.02	0.65	0.24	0.00	-0.02	-0.64	-0.45

Obrázek 58: Korelace mezi výnosem kukuřice na zrno s teplotou, srážkami a deficitem vody ve všech regionech ČR pro období 2002-2019 (ČHMÚ 2023).

V tabulce můžeme vidět, jak důležitý vliv mají teploty společně s úhrnem srážek na deficit vody rostliny a v závěru na výnosotvornou roli kukuřice. Tento vzájemný protiběžný vztah je nejvíce průkazný v období vegetace. Pozitivní korelace se dle tabulky týkala mezi výnosem zrna a srážkami v červenci a srpnu, kdežto negativní u deficitu vody a teploty v těch samých měsících. Zaznamenané hodnoty jsou záporné při přebytku vody nebo kladné při nedostatku. Deficit vody je celosvětově jedním z nejvýznamnějších stresových faktorů pro rostliny a přímo vede ke snížení výnosů. V ČR se takové deficity vyskytly v letech 2000, 2001, 2014, 2015, 2018 a 2022.

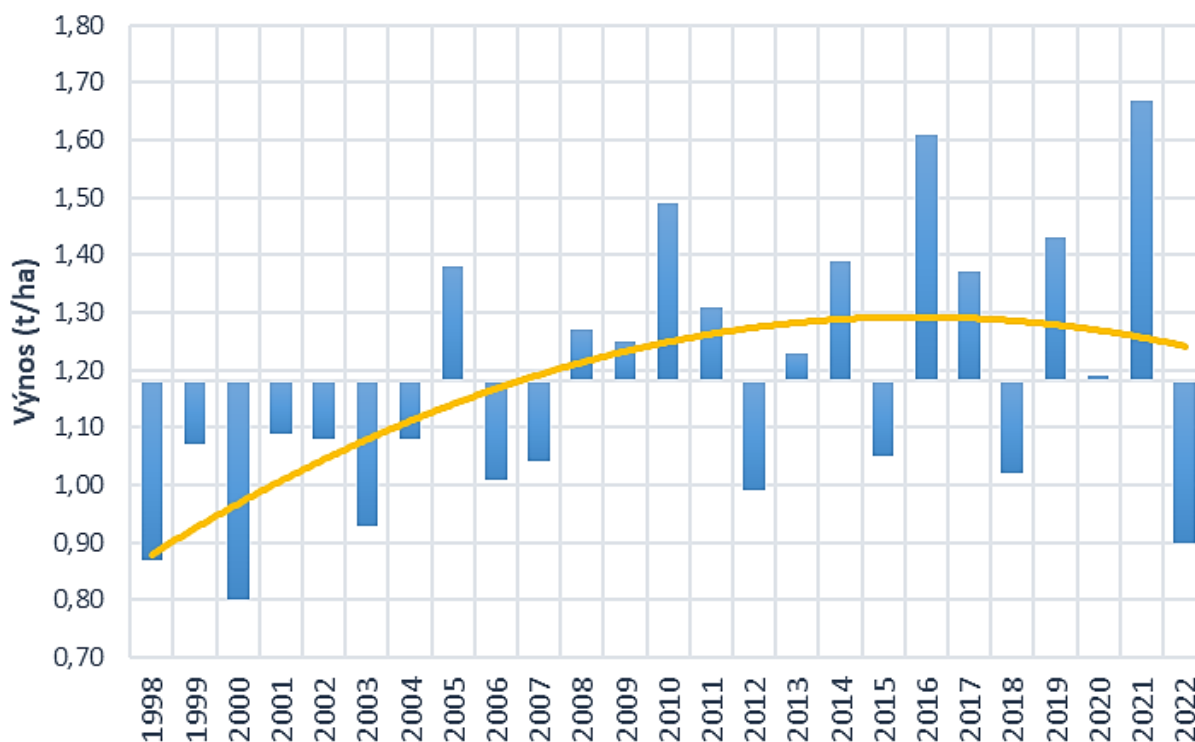
Vodní bilance je dána především rozdílem srážek a výparu (evapotranspirace). Mění se variabilita srážek a to tak, že se mění (snižuje) počet srážkových případů (přičemž roční úhrny se nemění) a přibývá extrémnějších srážek; dále se celoročně zvyšuje potenciální výpar, ale důležitější je, že se především na jaře zvyšuje reálný výpar. Důsledkem je zvyšování sucha a naplnění další podmínky pro degradaci půd. Adaptační opatření se shodují s protierozními (technická, organizační, agrotechnická) a v zemědělství s opatřeními proti suchu – od využití suchovzdorných odrůd až po využití fondu nepojistitelných rizik. V krajině by bylo ideální vybudování vzájemně propojených menších vodních nádrží umožňující čerpat vodu pro klíčové fenologické fáze prostřednictvím závlah (Hroudek 2012)

5.2.3 Analýza pěstování chmele

Na základě nasbíraných a vyhodnocených dat převážně z ČHMÚ a ČSÚ spolu s údaji z každoročních výročních zpráv MZe jsme zjistili, že nejvyšší naměřený hektarový výnos byl zaznamenán v roce 2021 s hodnotou 1,67 t/ha, což bylo nejvíce od počátků měření roku 1920.

Žlutě vyznačená spojnice trendu znázorňuje odchylku od průměru hodnot ročních hektarových výnosů s hodnotou 1,18 t/ha **viz Obr. 60**. Na grafu můžeme také jasně vidět značně kolísající výnosy v posledních 10 letech v souvislosti s výkyvy počasí způsobenými extrémními meteorologickými jevy suchých period s tropickými dny a přívalovými dešti nebo případným krupobitím.

České chmelnice vyprodukovaly v roce 2018 5,1 tisíce tun sklizně s porovnáním o tři roky později, kdy se produkce dostala přes 8,3 tisíc tun. V těchto dvou porovnávaných letech byla plocha chmelnic rozdílná o 1 %, přičemž sklizeň hned o 38 %. Ačkoli byl rok 2021 silným ročníkem, následující rok 2022 ukázal pravý opak a sklizeň 4,4 tisíc tun, zaznamenaná v porovnání s rokem 2018, byla dokonce ještě o 13 % menší.

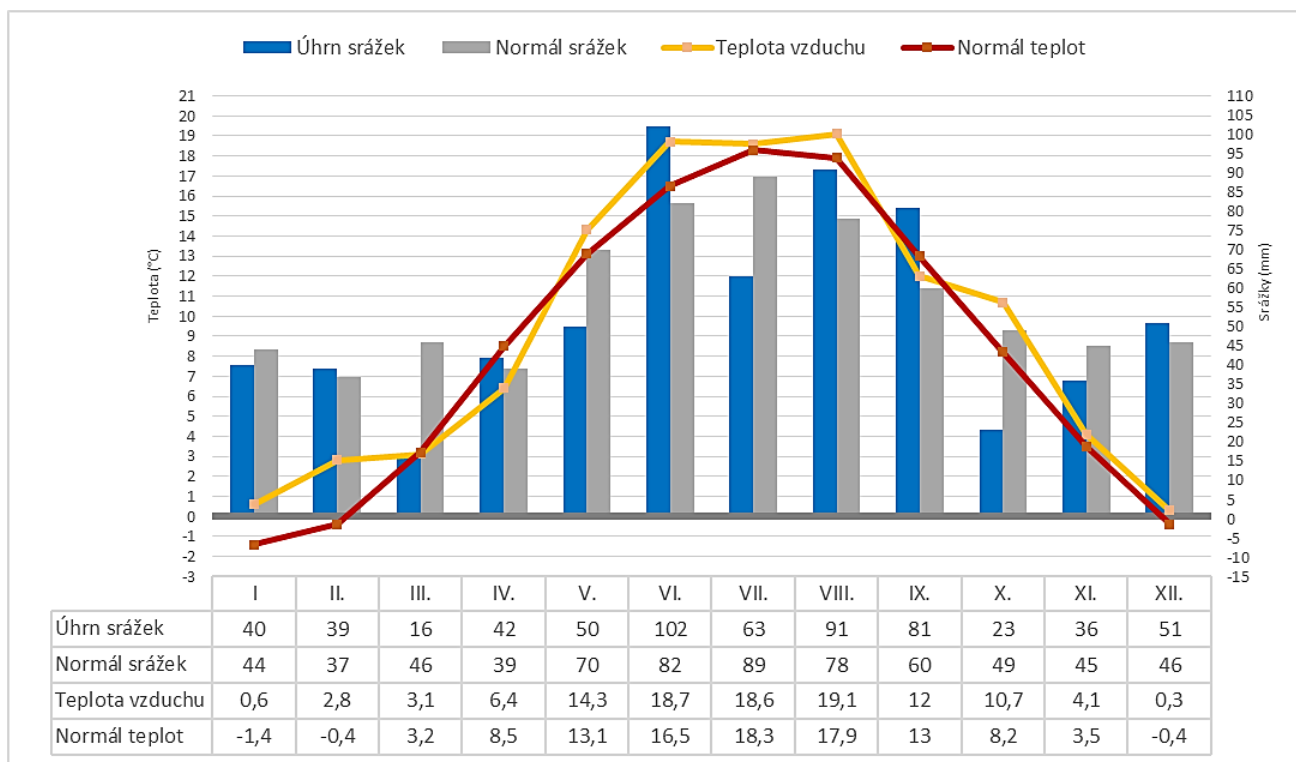


Obrázek 59: Výnosy chmele od roku 1998 (ČSÚ 2023)

Na obrázku ohledně roku 2022 jsme upozorovali odchylky od dlouhodobých normálů měsíčních teplot i od dlouhodobých srážkových normálů (1991–2020) v celém vegetačním období. Projevil se zde studený duben s teplotou o 2,1 °C nižší oproti dlouhodobému normálu teplot, přičemž srážkově zůstal relativně stejný. Naopak květen (+1,2 °C), červen (+2,2 °C), červenec (+0,3 °C) a srpen (+1,2 °C) byly teplotně nadprůměrné s přivalovými dešti v podobě bouřek převážně v červnu a srpnu. Tyto nárazové deště sice zvýšily průměrnou měsíční hodnotu úhrnů srážek, ale prakticky voda v krajině nezůstala a pro růst chmele byla stále deficitní, což se poté projevilo v období sklizně velmi malým hektarovým výnosem. (ČHMÚ 2023).

Poslední ohodnocený extrémní rok 2022 byl charakteristický dlouhými suchými obdobími spojenými s vysokými teplotami viz Obr. 61. Teploty se navíc střídaly s krátkými a intenzivními srážkami většinou bouřkového charakteru, které byly zaznamenány hlavně ke konci srpna a jen na některých lokalitách. Tyto srážky již výrazně neovlivnily vývoj nebo dozrávání chmele, ale spíše zkomplikovaly sklizeň pěstitelům všech chmelařských oblastí (ÚKZÚZ 2022).

- **Žatecká oblast** – pokles na 3 176,17 tun, tj. **pokles o 3 182,19 tun a 50,05 %**
- **Úštěcká oblast** – pokles na 542,8 tun, tj. **pokles o 406,78 tun a 42,84 %**
- **Tršická oblast** – pokles na 733,35 tun, tj. **pokles o 264,43 tun a 26,5 %**



Obrázek 60: Měsíční suma teplot a měsíční úhrn srážek v roce 2022 (ČHMÚ 2023)

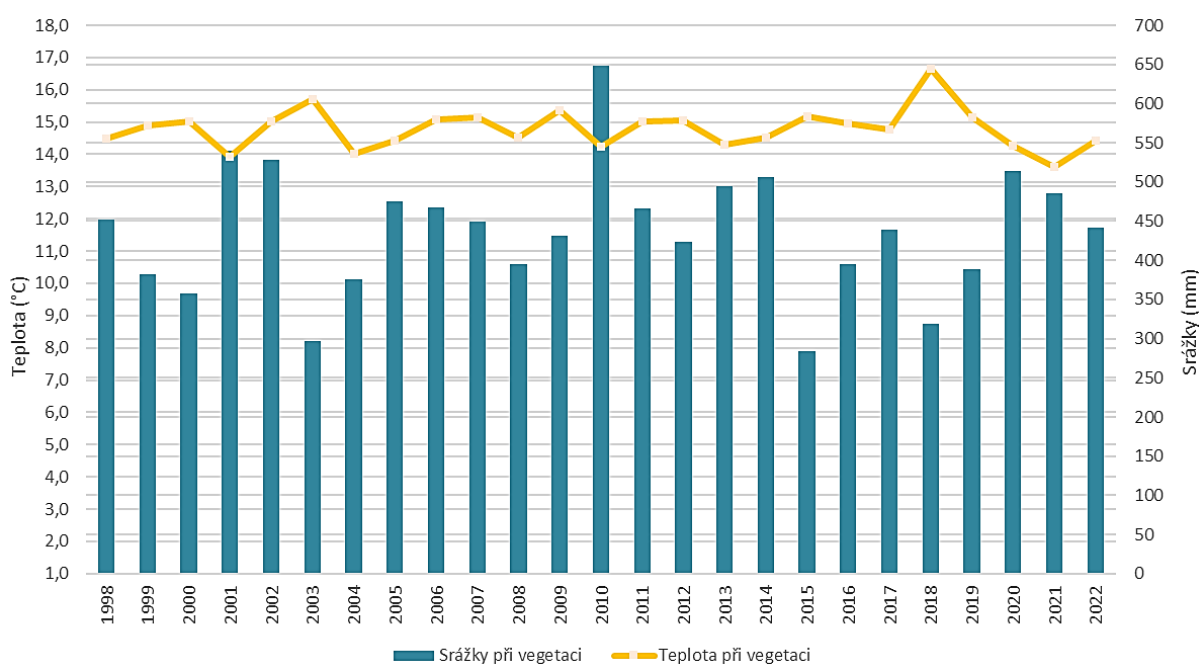
Nevyrovnanost výnosů chmele můžeme vidět i na příkladu roku 2018. Tento rok měl jednu z nejnižších sklizní (oproti roku 2017 nižší o 24,58 %). Tento rok byl typický nedostatkem srážek a vysokými teplotami jež také zapříčinily podprůměrnou úrodu chmele ve všech chmelařských oblastech (stejně jako v roce 2022). Jarní teploty byly nadprůměrné, významným způsobem urychlily vegetaci a letní měsíce pak byly takřka bez deště, navíc s tropickými teplotami. Duben byl o 3 °C teplotně vyšší oproti dlouhodobému normálu teplot (1981–2010), přičemž srážky dosáhly sotva 70 % normálu. Situace pokračovala až do července, kdy se vyskytlo 14 tropických dní a srážkový deficit byl již označován za katastrofický. Srážky byly sice zaznamenány v 8 dnech, ale jejich denní úhrn nikdy nepřevýšil 4 mm. V srpnu se jednalo o 15 tropických dní, s odchylkou + 2,5 °C oproti normálu. Srážkově byl srpen silně suchý s úhrnem jen 31 % normálu, kdy denní úhrn nepřesáhl 2,5 mm. Tropické dny byly dokonce zaznamenány i v měsíci září. V roce 2018 proto některé podniky sklízeli dříve, než je obvyklé. Celkově byl teplý půlrok 2018 mimořádně teplý, kdy extrém výskytu 30 tropických dní (květen–srpen) a nedostatek srážek dosahujících pouze 65 % normálu mluví za vše (MZe 2019; ČHMÚ 2023) viz **Tab. 10**, kde můžeme porovnat výnosnost daného roku v souvislosti s počtem ledových či tropických dní.

Tabulka 10: Porovnání tropických a mrazových dní mezi lety 2014 až 2021 (faktaoklimatu 2023)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ledové dny	14	7	23	27	20	11	10	30
tropické dny	14	37	10	29	31	25	30	31

Rok 2021 s celkovou produkcí chmele 8 306 tun zaznamenal nejvyšší hodnotu za posledních 25 let. Dosáhl svého maxima i v pěstované ploše. Nesl se v duchu vyrovnaného počasí se značnými dešťovými srážkami a ideálními teplotními podmínkami během vegetačního období **viz Obr. 62**.

Z hlediska průběhu teplot byl hodnocen jako normální s odchylkou +0,1 °C oproti normálu (1991–2020). Chladné měsíce navíc dosáhly 100 % normálu úhrnu srážek. Chladný charakter května přispěl k pomalému růstu chmele. Červen byl ale teplý s odchylkou +2,8 °C od normálu a 108 % normálu srážek. V červnu přišlo také silné krupobití spojené s bourkami, což způsobilo poškození cca 800 ha chmelnic, z toho 200 ha bylo zcela zničeno. Bylo zaznamenáno více mrazových dní a méně letních a tropických dní, než je dlouhodobý průměr, což zřejmě zapříčinilo dobrý výnos. V tomto roce se na některých místech v Česku objevilo i tornádo nebo záplavy chmelnic. Srpen byl studený a vlhký se třemi tropickými dny. Náročné pro tento rok bylo převážně zvládnutí ochrany chmele proti houbovým chorobám (peronospoře chmelové). A v neposlední řadě se také vyrovnat s opatřeními zavedenými vládou ČR v souvislosti s bojem proti pandemii koronaviru (ČHMÚ 2023; ČSÚ 2023).

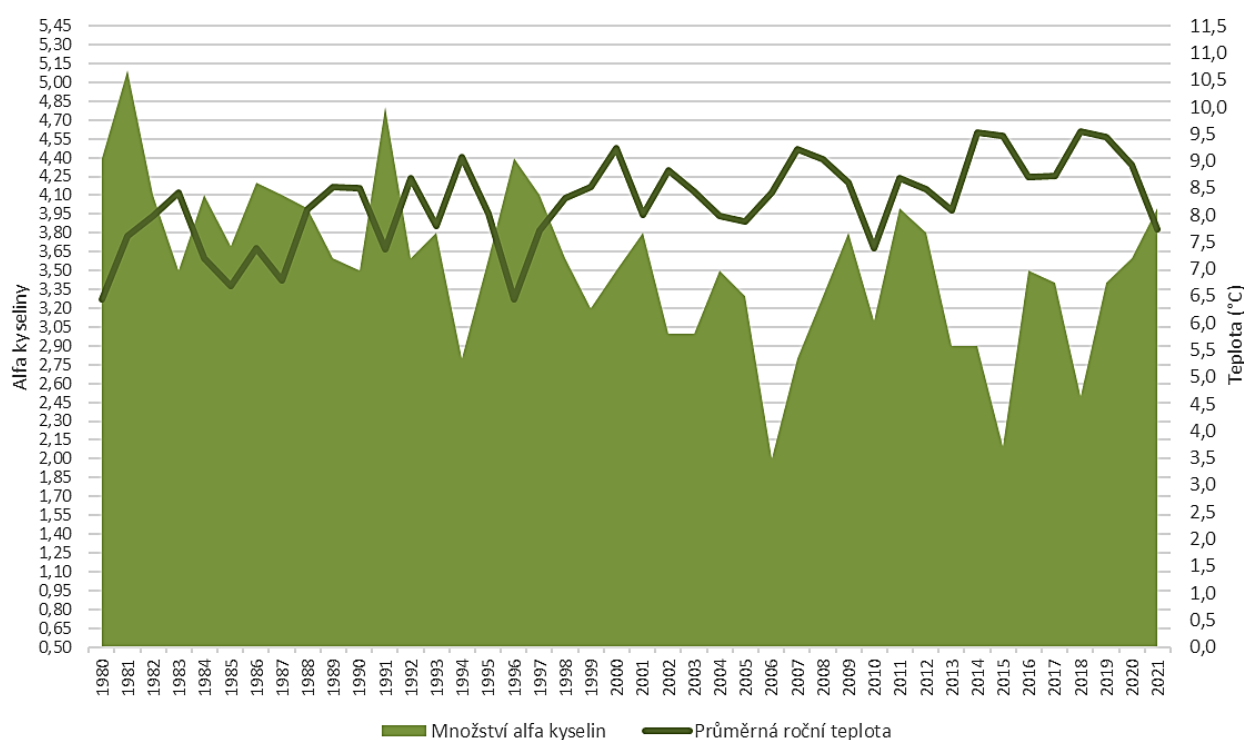


Obrázek 61: Korelace ročních teplot a úhrnů srážek v období od 1998 do 2022 (ČHMÚ 2023)

Dle výše zjištěných skutečností je zřejmé, že na špatnou úrodu chmele nejvíce působí vodní stres během kvetení a vývoje a zrání šišek. Důležitou roli zde hraje výpar a transpirace vody rostlinou. Proto je důležité uvažovat nad závlahou chmelnic jako jedním z nejdůležitějších faktorů pro dobrý růst rostlin. Bylo také zjištěno, že závlaha je sice významným faktorem, který stabilizuje výnos chmele, ale neovlivňuje obsah alfa kyselin. Obsah těchto látek je ovlivňován především vysokými teplotami

od poloviny června do období sklizně v srpnu. Efekt poklesu alfa hořkých látek v chmelových hlávkách byl zaznamenán při nárůstu teploty vzduchu **viz Obr. 63**.

Obsah alfa hořkých kyselin ovlivňující chuť piva není ale pro každou odrůdu chmele jednotný. Například Agnus vykazuje nezávislost na vysokých teplotách, což je dáno původem v americké větvi, která, je zvyklá na horké počasí v polosuchých oblastech (Patzak & Hencychová 2018). Snížení obsahu hořkých kyselin, což se ve výsledku negativně projevuje na tržní hodnotě chmele, způsobuje i plíseň *Pseudoperonospora humuli*. V současnosti je nejzávažnější houbovou chorobou ohrožující produkci chmele ve všech chmelařských oblastech. Pozdní infekce v průběhu květenství a vývoje hlávek má za následek nejen zastavení vývoje ale i jejich krnění a snížení obsahu hořkých kyselin. V tomto případě je dobré zvolit vhodnou aplikaci fungicidů (Nesvadba et al. 2022). Na závěr zmíním také šlechtění nových nebo alespoň odolných odrůd.

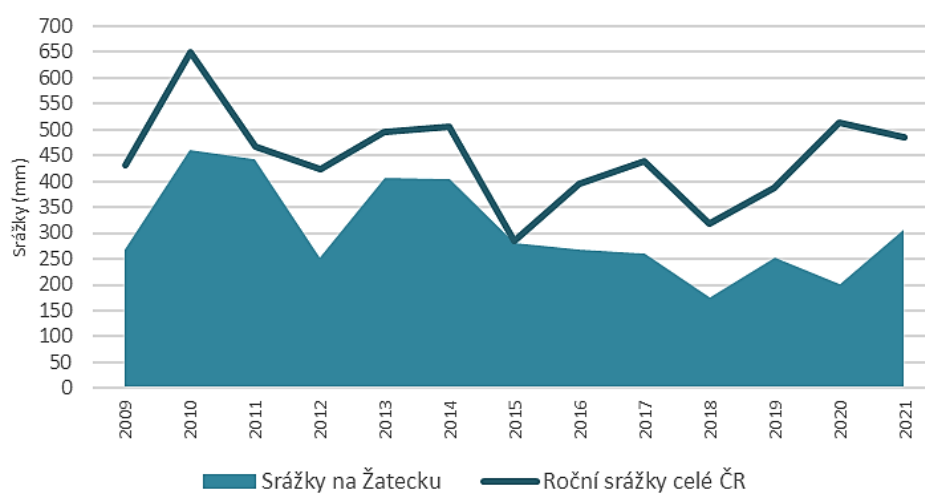


Obrázek 62: Množství alfa kyselin v závislosti na teplotě (1980–2021) (MZe 2021)

Co se týká zavlažování, umělé závlahy představují významný rentabilní a stabilizační faktor pěstování chmele. Jejich trend roste. Kapková závlaha s umístěním přímo na konstrukci je nejvíce rozšířená. Další alternativou je podzemní závlaha, kdy je zavlažovací potrubí umístěno v ose řádku chmelových rostlin v hloubce cca 60 cm. Je možné použít závlahu i jako mikropostřík, který ve chmelnicích nejlépe simuluje situaci dešťových srážek. Po několikátém testování efektivity dodatkových závlah pro Žatecký červeňák, výsledky prokázaly, že díky umělému zavlažování (mezi typy závlah nebyly zaznamenány žádné rozdíly) je možné zvýšit výnos chmele minimálně o 20 %. Ve chmelnicích České republiky je výstavba zavlažovacích systémů dotována státem v rámci podpůrného programu pro zemědělce 1.I „Podpora vybudování kapkové závlahy v ovocných sadech, chmelnicích, vinicích a školkách“. V současné době se celková výměra zavlažovaných chmelnic odhaduje na 1400 ha a

představuje tak přibližně 30 % pěstitelských ploch. Pro lepší přísun vláhy pro chmelnice jsou v národním plánu také výstavby vodních děl (MZe 2021).

Intenzivní rozložení chmelnic na malé ploše a jen ve třech mikroregionech může být dalším nepříznivým důsledkem pěstování chmele. Koncentrace pěstování chmele v poměrně malém regionu v České republice ji činí zranitelnější, než kdyby byla plodina pěstována ve více oblastech s rozdílným klimatem (Možný et al. 2009). Příkladem jsou toho chmelaři z nejvýznamnější oblasti pěstování chmele v Česku, z regionu Žatecka. Chmelnice v tomto regionu jsou součástí mikroklimatu, kterému blízké Krušné hory vytvářejí dešťový stín, a tak zde roční úhrn srážek dosahuje jen do 450 mm. Celorepublikový průměr je přitom hodnota mezi 600 až 750 mm viz Obr. 64 a 65.



Obrázek 63: Porovnání množství srážek na Žatecku s ročním celorepublikovým úhrnem



Obrázek 64: Srážky a sumy teplot za období vegetace (IV.-VIII.) chmele v Žatecké chmelařské oblasti v období 2009–2021 (ÚKZÚZ 2023; Nesvadba et al. 2022)

Jako o jedné z adaptační metod lze tedy uvažovat změnu v regionalizaci produkčních chmelnic. Nepříznivý důsledek kolísání výnosů plodin v rozmezí 10–30 % by se dal změnit z hlediska soustředěného pěstování chmele na zcela jiných výhodných lokalitách.

V neposlední řadě se jako biologická ochrana na chmelnicích úspěšně používají feromonové pasti lákající samečky obalečů.

Vlastním zkoumáním informací ohledně chmelu byla objevena ještě prozatím nevyzkoušená metoda podrobného sledování chmele. Jedná se o projekt PRO CHMEL, který si určil za cíl vylepšit stávající podmínky pěstování chmele, podrobné zajištění nedostatků při jeho růstu a následně možnou rychlou reakci na nenadále počasové jevy. Za projektem stojí firmy Plzeňský Prazdroj a Microsoft spolu s dalšími technologickými firmami. Využívají speciální aplikaci nazývanou chmelové EKG, které by pěstitelům mělo pomoci. Využívají k tomu nejmodernější technologie v podobě umělé inteligence, satelitních snímků i analýzy historických dat o klimatu v daných mikroregionech. Přístroje napojené na rostlinky pomocí senzorů, na chmelnici a v půdě celoročně měří klimatické podmínky na chmelnicích i informace o kondici rostliny, a to až do období sklizně. Nasbíraná data posléze software vyvinutý Microsoftem spolu s firmou Agritecture zpracuje a vyhodnotí. Závěry chtějí zveřejňovat všem zájemcům. Projekt PRO CHMEL začal sběrem dat o vlivu počasí na růst chmele již na podzim roku 2021. Průzkum zatím probíhá na 6 chmelnicích v Žatecké oblasti. Na podzim zde byly nainstalovány půdní sondy. Na jaře roku 2022 byla umístěna meteostanice na chmelnici a časosběrná kamera přímo na rostliny. Dosavadní analýza výsledků měření zatím ukázala, co přesně se děje u rostliny v případě stresových situací – senzory umístěné přímo na rostlinách změřily přesnou úroveň stresu v závislosti na změně vnějších klimatických podmínek. Dále změřili i probíhající průtok živin, který přesně ukázal, kdy se proces kvetení a tvorby hlávek zastavil a kdy a jak chmel vrhl veškerou svou energii do posílení kořenového systému. Vytvořili si tím komplexní obraz o růstu chmele využitelný do nepřehledné budoucnosti. Měření budou nadále probíhat po celou chmelařskou sezonu. Půdní senzory a meteostanice zůstávají na chmelnicích i přes zimu a stále sledují klimatické podmínky v půdě i v ovzduší. Během příštího roku 2023/2024 pak chmelaři zapojení do projektu získají první verzi aplikace k testování. Na té se zatím pracuje. Mělo by to pěstitelům napovídat, kdy a v jakém množství mají chmel zavlažovat, a jak se zachovat v rámci jakýchkoliv nečekaných výkyvů počasí způsobených klimatickou změnou. (PROCHMEL, 2023).

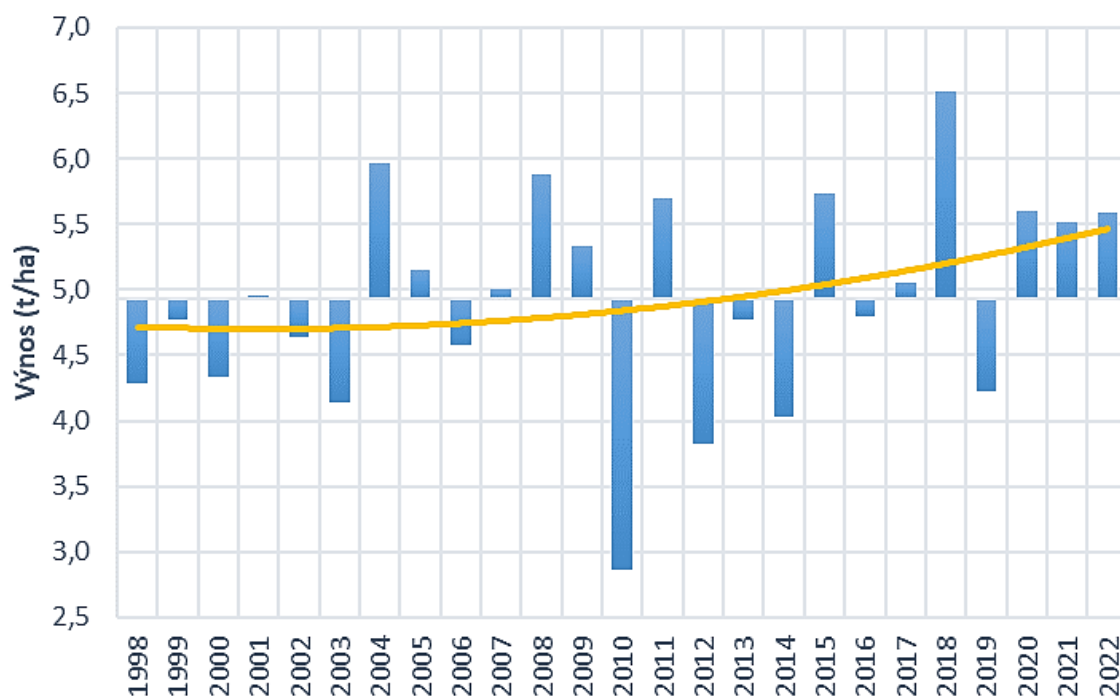
Diskuze

Studie dle Šrédl et al. (2020) zabývající se významem produkce chmele na České území přišla na základě bodové předpovědi a 95% intervalové předpovědi produkčních ploch chmele s výhledem na roky 2018–2020. Ty jsou uvedeny v tabulce níže. Podle zvoleného modelu v tabulce se produkční plocha chmele v ČR měla zvyšovat mírným tempem a v roce 2020 měla dosáhnout 5 076,47 ha a zvýšit se tak na stejnou úroveň ha jako v roce 2010. Jejich předpověď můžeme nazvat jako pozitivní, protože se v rámci intervalů uvedených v tabulce setkala se skutečností, která znamená 5 020 ha produkčních chmelnic pro rok 2018, 5 003 ha pro rok 2019 a 4 966 ha pro rok 2020.

5.2.4 Analýza pěstování révy vinné

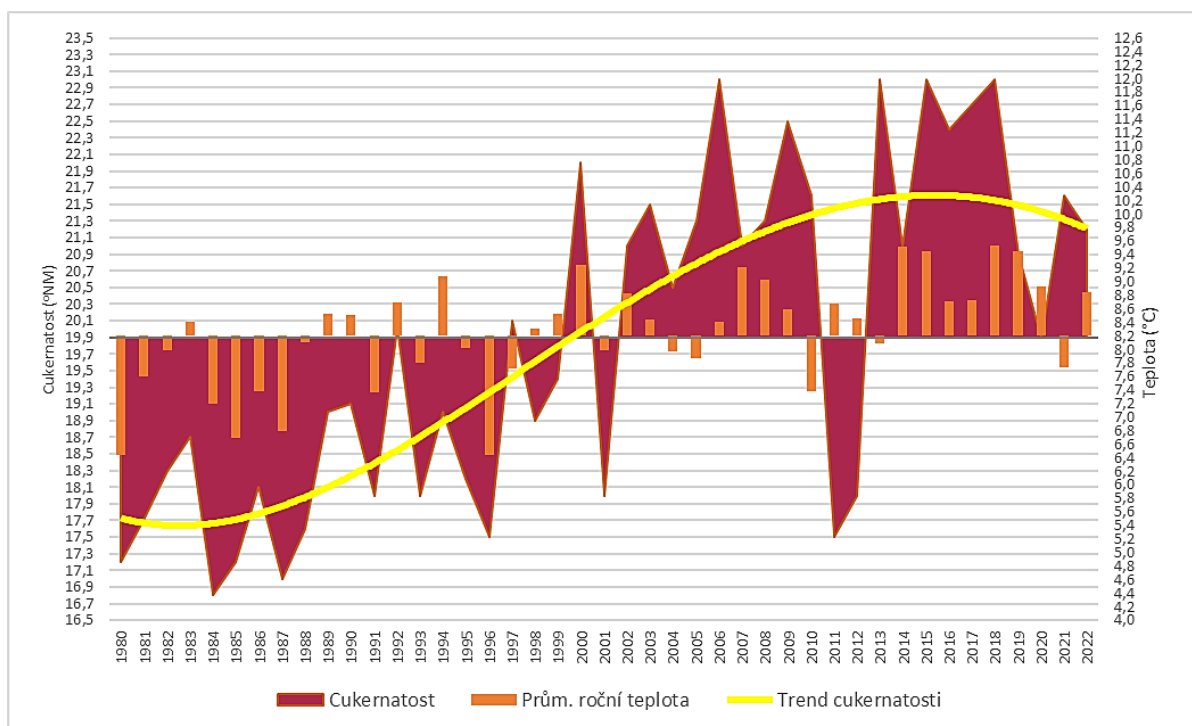
U révy vinné bylo jasně prokázáno navýšení cukernatosti hroznů při narůstající průměrné teplotě. Stresor v podobě sucha pozitivně ovlivňuje hlavně odrůdy modré.

Žlutě vyznačená spojnice trendu znázorňuje odchylku od průměru hodnot ročních hektarových výnosů s hodnotou 4,93 t/ha viz **Obr. 66**. Na grafu můžeme také jasně vidět lehce vzrůstající trend výnosů révy v posledních třech letech, velký propad v roce 2010, kdy byl zaznamenán velký úhrn srážek a nejvyšší výnos v roce 2018, kdy byl úhrn srážek deficitní.



Obrázek 65: Výnosy révy od roku 1998 do roku 2022 (ČSÚ 2023)

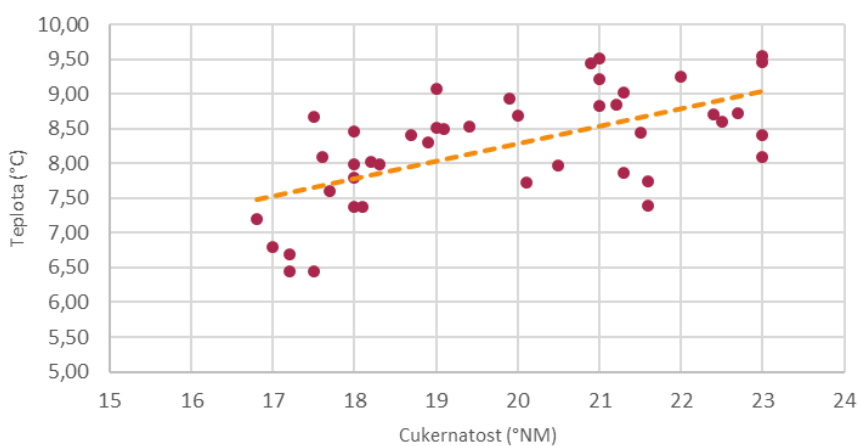
Stagnace výnosů nebo poklesy výnosů jsou u révy způsobované hlavně mrazovými událostmi. Vyšší teploty, sucho nebo nerovnoměrné rozložení srážek révě tolik nevadí. Naopak se zdá, že tato skutečnost má pozitivní vliv na cukernatost viz **Obr. 67**.



Obrázek 66: Porovnání zvyšující se cukernatosti se zvyšující se teplotou (ČHMÚ 2022; MZe 2022)

Kladná korelace na **Obr. 68** níže nám v hodnotě 0,61 dokazuje vztah cukernatosti s teplotou jako vztah čím více vzrůstá teplota, tím více se navyšuje cukernatost a naopak.

středně silná kladná korelace 0,61



Obrázek 67: Vzájemná korelace teplot a cukernatosti révy vinné (Mze 2022)

Rok 2018 byl zajímavý vývojem, kdy od konce března, tedy na začátku vegetačního období révy nastalo prudké oteplení, s teplotami vzduchu převyšujícími dlouhodobý průměr o více než 7 °C. Což zůstalo až do konce vegetačního období a v srpnu s vyskytujícími se tropickými teplotami. Vysoké teploty panovaly již od dubna, přičemž v květnu se už objevily teploty přesahující 30 °C. Zajímavý byl i pokles teplot počátkem července, kdy minimální teploty ve vinařských oblastech poklesly pod 10 °C. Réva si tak mohla od vysokých teplot odpočinout. Celá situace urychlila vývoj a posunula

fenofázi – termín kvetení až o tři týdny. Réva se tak vyhnula ohrožení mrazíky. Réva je kulturní rostlinou patřící mezi ty nejodolnější k suchu. Vysoké teploty ale vedly i ke zvýšení potenciální evapotranspirace a tím k vyšším nárokům na vláhu. Byla nutná závlaha, která se lokálně velmi lišila. Závlaha ovlivňuje významně kořenový systém révy, kořeny rostou nejlépe ve vlhké a teplé půdě. Avšak v porovnání s chmelem je na tom réva lépe (MZe 2019).

Můžeme tedy zhodnotit, že i při dlouhotrvajícím suchu, kdy se například listy svinou (stres se projevuje nejvíce u starších listů), zežloutnou a uschnou, čímž dojde k pozitivnímu odstranění starých listů, které již nejsou aktivní ve fotosyntéze a k mírnému nárůstu listů nových, ve fotosyntéze aktivních. Nebo v době květenství, kdy listy sprchávají, což může mít u některých odrůd pozitivní vliv na bobule. Ty se totiž dále nevyvíjejí a nezrají. Pozitivní působení stresu vyvolá tvorbu antokyanových barviv a taninů, obsahu kyseliny jablečné, která se snižuje a obsah cukernatosti, která se zvyšuje. Pozitivně se sucho může projevit i v prvních týdnech po odkvětu. Střední nedostatek vody tu způsobuje, že bobule narostou menší a díky tomu více odolnější vůči houbovým chorobám. Mírný stres může mít vliv na vyšší kvalitu vína modrých odrůd. Bílým odrůdám ale suchá období nesvědčí. Stres suchem má u nich za následek vyšší obsah bílkovin, které negativně ovlivňují kvašení a nedostatek vláhy zesiluje nepříjemný pach a příchuť, označovaný jako „atypická stařina“ neboli UTA (Pavloušek 2013; Pavloušek 2014).

Adaptační opatření jsou u révy vinné v podobě agrotechnických zásahů:

- zatravnění a ozelenění meziřadí vinice (protierozní opatření, vhodné je vybrat směsi nekonkurující révě s obsahem bobovitých a brukvovitých rostlin),
- použití organických materiálů k mulčování povrchu půdy ve vinici (sníží se utužení, zvýší se tvorba organické hmoty v půdě a omezí se výpar vody z půdy, použití slámy, drcené borky nebo sena) - zlepší se hospodaření s vodou, vodní jímavost a zvýší se obsah humusu v půdě,
- krytí révy proti mrazu,
- používání stínících sítí
- zavlažování v závislosti na fenofázi révy vinné a požadavcích na kvalitu hroznů – kapkovou závlahou,
- feromonové pasti jako biologická ochrana
- výběr odolných odrůd révy.

Díky pěstování odrůd odolných vůči houbovým chorobám není třeba vinice tolik ošetřovat postřiky. Takové odrůdy révy vinné se označují zkratkou PIWI. Na českých vinicích jich je největší podíl na světě (eAgri 2022).

Jedním z adaptačních opatření pro vinnou révu je budování mikrozávlah s protimrazovou úpravou, využitelné k ochraně rostliny na počátku vegetační sezóny a zvýšení produkce dodáním vody v době sucha. Kompenzaci nedostatku vodních srážek lze provést pomocí zavedení zavlažovacích systémů, které mohou napomáhat k odbourání vodního stresu rostliny (Pavloušek 2011; Briliante et al. 2016).

Pro ochranu révy se testují přípravky, které mají v období vysokých teplot účinek ochlazení hroznů. Účinným přípravkem je kaolin, který nejen ochlazuje, ale dokáže odrážet i část slunce. Do zóny hroznů se vpravuje postřikem. Totéž se zkouší i s bentonity a vápenatými přípravky, které se používají v ovocnářství u jablek již delší dobu. Další metodou, jak se ve vinohradech s měnícím se klimatem vyrovnat je pokus s výsadbou keřů do hustějších celků, kdy se chce dosáhnout vyšší a

přirozené odolnosti révy vůči suchu podpořením hlubšího zakořenění rostliny. Pokus už v prvním roce ukázal rozdíly v růstu právě na základě vzdálenosti keřů v řadě (Pavloušek 2013).

Vinohradníkům a vinařům je nabízená pomoc nejen ze strany státu. Každý rok našeho zkoumaného období byly vypláceny podpory z různých dotačních zdrojů, tj. podpory z prostředků ČR – národní dotace vyplývající ze zákona o zemědělství, podpory z prostředků Vinařského fondu, podpory poskytované od Podpůrného a garančního rolnického a lesnického fondu (PGRLF), podpory z prostředků EU – podpory v rámci Společné organizace trhu (SOT) s vínem, podpory v rámci Single area payment scheme-jednotné platby na plochu (SAPS) a podpory z prostředků ČR a EU – podpor v rámci Programu rozvoje venkova (MZe 2023).

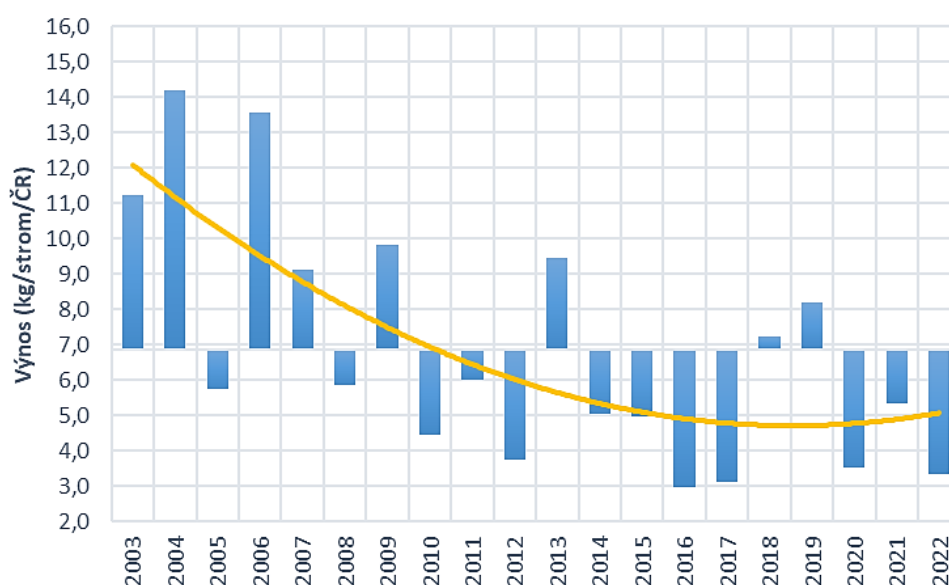
Diskuze

Sůkalová (2010) pomocí jednorozměrné analýzy pro regresní model sledovala vlivy podílející se na celkovém objemu produkce vína a vliv ročního úhrnu srážek na průměrnou cukernatost hroznů v letech 2001 až 2009. Práce přišla se závěrem poukazující na silnou závislost teploty a cukernatosti a zároveň nevýznamném vlivu úhrnu srážek na průměrnou cukernatost hroznů: „Hodnota regresního parametru 0,71 udává, že při zvýšení průměrných teplot o jednotku dochází ke zvýšení průměrné cukernatosti o 0,71“ s vysvětlením: „nárůst průměrné teploty vzduchu o 1 °C zapříčiní nárůst průměrné cukernatosti o 0,71 °NM.“ U vlivu srážek takto: „Lze říci, že při zvýšení ročního úhrnu srážek o jednotku dojde ke zvýšení průměrné cukernatosti hroznů o 0,001, což lze interpretovat jako: nárůst ročního úhrnu srážek o 1 mm způsobí nárůst průměrné cukernatosti o 0,001 °NM. Z uvedených výsledků lze vyvodit, že úhrn srážek nemá podstatný vliv na cukernatost“. Což dokládají i námi výše popsané výpočty. V našem případě se jednalo o rozmezí let 1980 až 2022 s kladným korelačním koeficientem 0,61 dokazujícím závislost růstu průměrných teplot na růstu cukernatosti v hroznech révy vinné.

5.2.5 Analýza pěstování meruněk

V rámci extrémních vlivů počasí mají na výnos a růst meruněk nejvíce negativní vliv přízemní mrazíky, oteplování zimního období a délka slunečního svitu během ledna či února. Proto jsme na následujících grafech porovnávali především nízké teploty s celkovým výnosem meruněk.

Na **Obr. 69** žlutě vyznačená spojnice trendu znázorňuje odchylku od průměru hodnot ročních výnosů meruněk s hodnotou 6,84 kg/strom/ČR. Je zde vidět zřetelný pokles od roku 2003. Ale také zajímavost v podobě let 2018 a 2019, kdy ačkoli bylo celorepublikově zaznamenáno rekordní sucho a většinový výnosový propad u velké většiny zemědělských plodin, u meruněk výnosy spíše vzrostly.



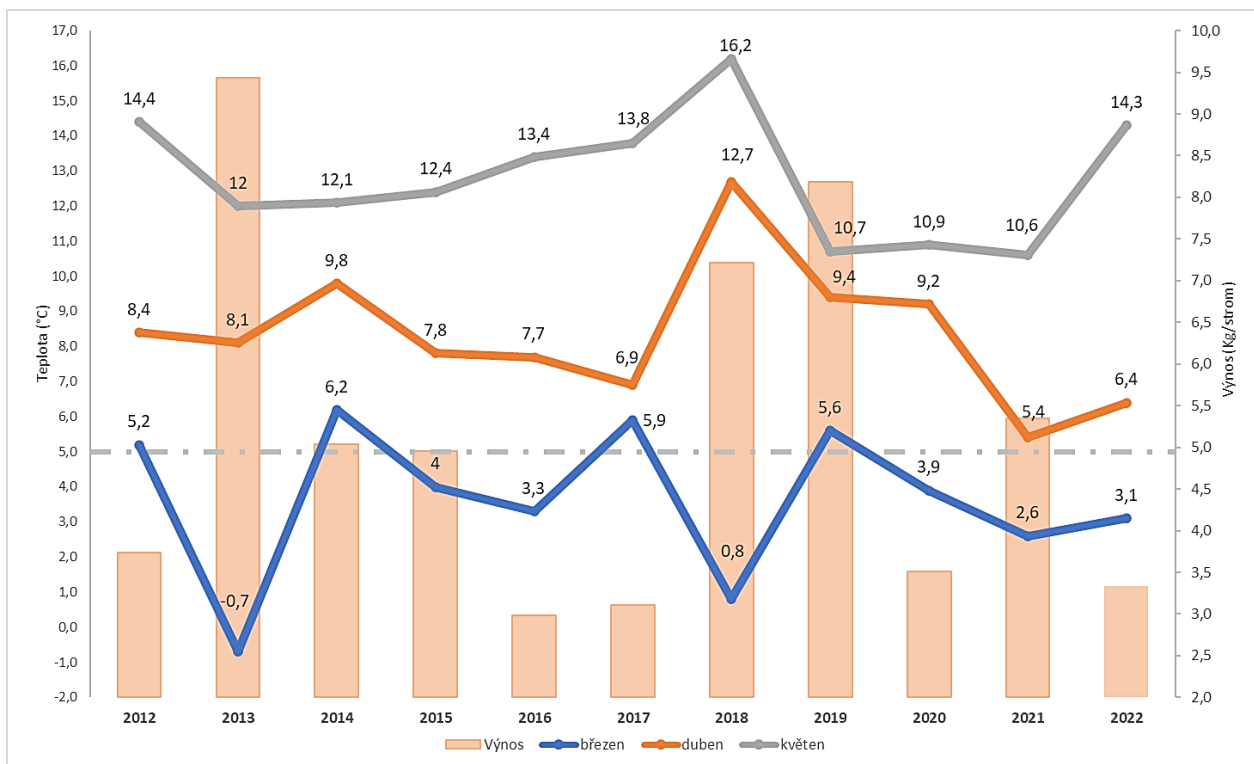
Obrázek 68: Výnosy meruněk od roku 2003

Výnosy jsou úzce závislé nejen na silných mrazech, ale na celém průběhu počasí. Zásadní roli hrají v době květu, kdy náhlá jarní ochlazení (převážně březen, duben, květen) mohou způsobit značné poškození již rozvítých květů a snížit následný výnos. Mrazové epizody, kdy se teplota ve fenofázi doby květu přiblíží nebo klesne pod hranici 5 °C zpomaluje nebo zastavuje růst rostliny. Za posledních třicet let se kvetení meruněk posunulo o měsíc dříve z dubna na březen, což je ovlivněno globálním oteplováním, které zapříčiňuje teplé zimy. Zvyšující se rozkolísanost teplotních podmínek probíhá v posledním desetiletí převážně v jarním a předjarním období, tedy v lednu, únoru a březnu. Vlivem teplejší zimy se urychlí vegetační proces a meruňky začnou dříve kvést, což vyvolává jasnou náchylnost vůči později přicházejícím mrazům. Příchod mrazů v době vytváření plodů má stejný princip i stejný efekt. Dalším negativním faktorem je nezvyklá intenzita slunečního svitu, který stimuluje rašení pupenů. Počet hodin slunečního svitu za posledních deset let v období od 2012 do 2022 dosahoval průměrně 68,8 hodin v období leden-únor, v roce 2022 to ale bylo 211,5 hodin.

Za relativně normální lze v posledních deseti letech označit pouze roky 2013 až 2015. Roky 2011, 2012, 2016 a 2017 negativně ovlivnily sklizeň jarní mrazy, v roce 2018 pak extrémní sucho a v roce 2019 oba tyto faktory dohromady.

Na grafu **Obr. 70** můžeme vidět, jak ovlivňují průměrné teploty v jarních měsících následný výnos ovocných stromů. Při celkově nízkých březnových průměrných měsíčních teplotách bylo

kvetení meruněk opožděno, díky čemuž je následné jarní mrazíky tolik nepoškodili jako v jiných ročnících. Dále zde pomohly vyšší teploty měsíců května, který po zpomaleném březnu dohnal růst stromu. Přestože vidíme kladnou hodnotu výnosu ve zmíněných ročnících, můžeme také vidět jejich hodnotu v porovnání s předešlými roky, kde výnos dosahoval vyšších čísel. Je tedy dost pravděpodobné, že mráz je prvním faktorem nekvalitní sklizně meruněk, ale souhrn v tomto případě hraje více faktorů, které výslednou sklizeň ovlivňují. Tímto bychom pak výsledky našeho rozboru mohli nazvat jako statisticky neprůkazné.



Obrázek 69: Korelace průměrných měsíčních teplot na jaře (III., IV., V.) v porovnání s hranicí 5 °C jako faktoru vymrznutí květů/plodů s výnosy u meruněk za rok 2012-2022 (ČSÚ 2023)

Můžeme vidět vzájemný vztah teplot tří jarních měsíců s vlivem na výnos meruněk v souvislosti s hranicí 5 °C jakožto hranice pro pozastavení růstu. Za posledních deset let byla mrazy poničena úroda sedmkrát. U pěti posledních let je vidět rozdíl úrodných let 2018 a 2019 oproti neúrodným 2020 a 2022. V každém roce se nízké teploty projevily, ale nebyly jediné, v letech 2020 i 2022 přišlo silné krupobití, které zničilo převážně již narostlé většinou nedozrálé plody. V roce 2021 přišlo na jižní Moravu dokonce tornádo, které jistou úrodu zdecimovalo. Rok 2018 je podobný roku 2013 v teplotách kolem nuly v měsíci březnu, nárůstu teplot o měsíc později v dubnu a zvyšující se teplotu nadále i v květnu. Rok 2019 má vyšší teploty v březnu i přes výskyt mrazíků. Zároveň je zde patrný nárůst teplot v období dubna a jedno z chladnějších hodnot pro měsíc červen. Všechny zmíněné roky zaznamenaly dobrý výnos přičemž hodnoty vstupu nebyly identické. Můžeme tedy potvrdit statisticky neprůkazné výsledky. Pro vysvětlení vlivu teplot na výnosy meruněk je potřeba mnohem více faktorů než je jen samotná teplota a zároveň hodnoty denních teplot. Pro budoucí výzkum bude potřeba porovnat teploty i přes zimní období zároveň s délkou slunečního svitu, množství živin v půdě a v neposlední řadě množství vody jak v půdě, tak u rostliny.

Můžeme alespoň konstatovat, že klimatické modely, které nám v nejhorsích scénářích ukazují šedesáti procentní riziko poškození ovocných stromů pozdním mrazem ke konci 21. století, nám potvrzují význam počtu mrazivých period několika minulých let jako navyšující se rizikovost při pěstování meruněk.

Existují výzkumy na rozdíly v jednotlivých kultivarech meruněk, které poskytují určité celkové tendence. Obecně bylo prokázáno, že s postupem fenologického procesu v období vývoje květů se mrazuvzdornost postupně snižuje a že existují velké rozdíly v mrazuvzdornosti odrůd meruněk. V těchto experimentech byla identifikována maximální úroveň mrazuvzdornosti mezi -6 a -10 °C na začátku kvetení, mezi -6 a -7,8 °C při plném květu, zatímco byla mezi -3,8 a -7 °C na konci kvetení v závislosti na mrazuvzdornosti genotypu. Kromě toho tyto experimenty identifikovaly mrazuvzdorné kultivary meruněk, které by mohly být použity jako šlechtitelské zdroje pro zlepšení mrazuvzdornosti během kvetení, jako je „Roxburgh Red“ z Nového Zélandu (Hewett 1976), „Kabaasi“, Hachihaliloglu“ a 'Salak' z Turecka (Gunes, 2006; Kaya et al., 2018; Kaya a Kose, 2019), 'Ordobad' z Ázerbájdžánu (Dejampour et al., 2012), 'Borsi-féle kései rózsá', 'Kécroze' z Maďarska (Surányi, 2011), 'Zard' ze Střední Asie (Szalay, 2001), 'Gerdel' z Ruska Krasnodarský kraj (Dragavtseva et al., 2019). Sledováním mrazových poškození různých květních orgánů po nízkých teplotách bylo zjištěno, že pestík byl nejvíce citlivou částí květů na mráz (Hewett, 1976; Proebsting a Mills, 1978; Rodrigo, 2000; Szalay, 2001; Szabó, 2002; Pedryc, 2008; Szabó, 2008). Bylo však zjištěno, že bod tuhnutí pestíku je nižší než u jiných květních orgánů, když byla provedena diferenciální termická analýza in vitro (Kaya a Kose, 2019), ale v tomto případě byly různé orgány testovány samostatně.

Adaptace meruněk na mrazy zahrnují několik strategií, které pomáhají minimalizovat riziko poškození stromů a zajišťují, že plody se vytvoří až poté, co mrazy skončí. Jednou z neúčinnějších adaptací na mrazy je výběr odrůd, které jsou odolné vůči nízkým teplotám. Existují odrůdy meruněk, které jsou speciálně vyvinuté pro pěstování v chladných oblastech a jsou schopny snášet mrazy až do -30 °C. Tyto odrůdy mají také tendenci kvést později, což snižuje riziko poškození květů během období mrazů. Další adaptací meruněk na mrazy je vhodné řezání stromů. Správný řez pomáhá stimulovat růst nových větví a zlepšuje cirkulaci vzduchu v koruně stromu. To zase zvyšuje odolnost stromu vůči mrazu a minimalizuje riziko poškození květů a plodů. Meruňky využívají i několik svých fyziologických adaptací pro přežití v chladných podmínkách. Vše ale závisí na přístupu vody na podzim před jejich přezimováním. Jednou z nich je tvorba extracelulárních krystalů v buňkách. Tyto krystaly pomáhají omezit množství vody v buňkách a snižují riziko poškození při promrznutí. Další fyziologickou adaptací je tvorba antifrostových proteinů. Je důležité zaměřit se na tyto vlastnosti u nových odrůd.

Dále se nabízí k využití mlhostroj, který vytvoří ochranný ledový obal – mlžný mrak v podobě aerosolu kolem stromů, s cílem zvýšit teplotu okolo nich. Samotný přístroj je poměrně jednoduchý a u každého ovocnáře je sestaven, dle dostupných zdrojů, jinak. Princip je ale stejný, mlha je rozháněna z trysek asi dva a půl metru do prostoru, měla by být hustá a postupně doplňována opakovaným průjezdem mezi stromy každé dvě až tři hodiny. Mlha tak zabrání proniknutí studeného vzduchu ke květům, což je žádoucí. Začátek zamlžování se doporučuje při teplotě okolo 0 °C s koncem až v době, kdy začíná led na rostlinách roztávat. Led je jeden z neúčinnějších tepelných přírodních izolantů (Blažek et al. 2005).

Využití protimrazových parafinových svící je jedna z dalších metod postupu proti mrazu. Jedná se o plechovou nádobu naplněnou parafínem a opatřenou knotem, kterou lze v případě potřeby velmi rychle zažehnout, která dokáže hořet 6 až 10 hodin. Je snadno přemístitelná, díky malé velikosti, přesto je schopná zvýšit teplotu v blízkosti stromů až o 2 °C, tak aby květy nebyly poškozeny (Zelený 2017).

Hojně využívány jsou též kotlíky se zapálenými briketami či hořící balíky slámy jako princip zadýmování ovocných výsadeb. Jedná se o pracnou metodu, ale efekt, spočívající v ohřátí sadu o 2 až 4 °C, je však velmi významný (Bažant 2004)

Inverzní charakter pozdních jarních mrazů může také rozrušit princip promíchávání vzduchových vrstev pomocí stacionárních vrtulí, přelety vrtulníky nad sady nebo pozemní průjezdy strojů s ventilátory (Bažant 2004).

Ochranu proti mrazu můžeme rozdělit na ochranu preventivní a na ochranu přímou. Celkově lze říci, že preventivní opatření meruněk zahrnují kombinaci vhodného výběru odrůd, řezání stromů a fyziologických adaptací samotných meruněk, které pomáhají minimalizovat riziko poškození stromů a zajišťují výnos plodů až po skončení mrazů. Z přímé ochrany je v současné době na největším rozmachu spalování parafinových svící a další výše zmíněné metody. Adaptační opatření jsou často pro ovocnáře náročná, proto se ustavičně hledají nové způsoby, jak meruňky před stále častějšími mrazy ochránit.

Nesmíme ale také zapomenout na ochranu proti houbám, plísním nebo hmyzu v podobě postřiků proti moniliové spále, moniliové hnilobě nebo hnědnutí listů meruňky či strupovitosti.

a stanoviště (Rod 2018).

Diskuze

Dle studie Středa a Rožnovský (2006) ohledně vlivu teplotních sum na počátek kvetení meruněk, můžeme konstatovat, že i přes námi vyhodnocená data není možné jednoznačně určit přesnou sumu teplot od které se fáze kvetení odvíjí. Jak je vidět i z grafu v kapitole Analýza pěstování meruněk, na počátek této fenologické fáze má zřejmě vliv více faktorů než jen mrazové události během března až května. Zmíněná studie provedla závěr kdy: „že i při použití přesnější metody sumace aktivních teplot založené na hodinových stupních je obtížné přesně stanovit sumu teplot, která vede k iniciaci kvetení u meruňky. Odchytky v termínech rozkvětu jsou dány zřejmě kritickými zvraty počasí ve sledovaném období.“ Závěr můžeme potvrdit hodnotami teplot v grafu, kdy není jasná příčinná souvislost mezi teplotami jednotlivých měsíců, ačkoli se může zdát, že jsou v určitých letech podobné. Ve výsledcích sklízňě tomu ale pak závěrem vegetačního období nebývá, vzhledem k souhře vícero extrémních událostí jako můžou být například i krupobití během do-zrávání plodů.

6 Závěr

Očekávaný nárůst teploty ovlivní veškeré ekosystémy. Větším problémem nebudou tolik průměry hodnot, ale jejich extrémy. Vyšší teplota zvýší výpar vody a její deficit v krajině, podpoří sucho během celého roku, zvláště však na jaře, zkrátí zimu, sníží dobu trvání sněhové pokrývky, uspíší nástup jara, urychlí vývoj vegetace a přijde častější výskyt ranních mrazíků nebo přívalových srážek. Ranní mrazíky mohou mít devastující účinky na všechny vybrané plodiny. Letní sucha budou ovlivňovat především oblasti střední a jižní Moravy, středních a severozápadních Čech, dolního a středního Polabí a Povltaví, které jsou klíčové pro zemědělskou produkci ČR. Některé výrobní oblasti se s největší pravděpodobností budou přesouvat do míst s vyšší nadmořskou výškou.

V posledních deseti letech se zvýšil podíl silných a extrémních srážek na celkových ročních úhrnech. Četnost výskytu silných srážek vzrostla o 2 až 4 %. Zatímco celkový počet dnů se srážkami se nenavýšuje, počty dnů s nárazovými srážkami nad 20 mm v jednom okamžiku rostou. Přívalové deště jsou schopny krátkodobě zatopit danou oblast (např. u chmele) a způsobit tak hnilobu nebo nákladu rostlin. Deště spojené s bouřkou a krupobitím jsou zase schopné zdecimovat celou úrodu. V zimě budou častější srážky místo sněžení. Ve formě deště bude sněžit namísto potřebného sněhu, který by ochránil i zamrzající půdu. V neposlední řadě extrémní srážky podporují erozi půdy. Oteplováním zimních měsíců ubývá sněhové pokrývky, kvůli tomu, hlavně v nížinách, klesá zásoba zimní vláhly a riziko výskytu sucha už v jarním období se zvyšuje.

V nedávné historii můžeme pozorovat nerovnoměrné a nepředvídatelné oteplování jednotlivých měsíců v roce. Nejvíce se tak za posledních 60 let zvýšila teplota v zimních měsících jako je prosinec a leden a zároveň v měsících letních, červenci a srpnu. Nejen, že klimatické změny a zvyšující se teplota zesilují sucho v létě a počet dní s teplotami dosahujícími téměř 40 °, patrně jsou i změny v počtech ledových dní přes chladnější část roku. Model klimatu pro ČR se ukazuje jako narůstající výskyt extrémních událostí. Změny maximálních denních teplot, počtu dní s extrémními teplotami a střídání extrémně teplých, resp. chladných období, jsou zejména v letních období statisticky významná. Také dochází k postupnému zvyšování průměrného počtu dní s vysokými teplotami a ke snižování průměrného počtu dní s nízkými teplotami. Průměrný počet letních dní se během let na celém území ČR oproti minulosti zvýšil o 13 dní, tropických dní o 6. Naopak k poklesu došlo u průměrného počtu studených dní – těch mrazových o 8 dní, ledových o 3 dny.

V posledních 30 letech se sucho pro zemědělce pěstující polní plodiny stává největší hrozbou převážně v nížinných oblastech ČR. Žatecko pravidelně prožívá nejvíce suchých epizod v ČR (suchá oblast na severozápadě ČR). Další oblastí bývá Polabská nížina (Středočeský kraj) nebo Jihomoravský kraj. Během posledních dvou sezón zažili chmelaři na Žatecku oba extrémy – loni jednu z nejlepších sklizní, letos naopak hluboce podprůměrnou. Chmel tedy čeká na vývoj technologie nazývané chmelové EKG, které bude díky souvislému sledování růstu chmele a kondice chmelnic předcházet nepříznivým výsledkům výnosů.

Réva vinná je extrémně klimaticky citlivou plodinou, což se projevilo na vzniku různých vinařských regionů, které jsou odlišné různými charakteristickými vlastnostmi vyprodukovaných hroznů. Teplotní podmínky pro pěstování modrých odrůd révy, z nichž se vyrábí červené víno, se budou zlepšovat, naopak situace pro pěstování bílých odrůd se bude zhoršovat. Růst teplot naznačuje, že vývoj v pěstování vína spěje k typům odrůd, které dozrávají později. Naopak se zdá, že sušší podmínky svědčí modrému vín, protože jsme prokázali zvyšující se hladinu cukrů v hroznech při

vzrůstající teplotě. Na severní polokouli jsou dnes vinařské oblasti rozprostřeny mezi 30° a 50° severní šířky, na jižní pak mezi 30. a 40. stupněm jižní šířky. Vinice se však budou sunout do vyšších nadmořských výšek, protože hrozny budou dozrávat i ve vyšších nadmořských výškách.

Zvyšující se meziroční variabilita meteorologických prvků, od níž se odvíjí zvýšená výnosová variabilita pozorovaná v současnosti, bude v blízké budoucnosti klást vyšší nároky na eliminaci jejich nepříznivých dopadů realizací adaptačních opatření. Společným jmenovatelem adaptačních opatření v zemědělství je dobré plánování. Nezbytnou podmínkou zemědělství v budoucnosti musí být udržitelné využití půdy a dodávání organické hmoty. Dále je důležité zavádět opatření pro zadržování vody a opatření zamezující půdní erozi. Mezi adaptační opatření patří využití vyšlechtěných plodin odolných vůči mrazu, suchu a dalším stresorům. U meruněk jsou nové mrazuvzdorné odrůdy víceméně nutností, protože v dobách extrémních výkyvů počasí nejsou schopné přizpůsobit se náhlým jarním mrazíkům.

Změna klimatu, její dopady a nutnost reakce představují jedno z klíčových témat současné environmentální politiky už jen z toho důvodu, že se silně dotýká oblasti zemědělství. Extrémní projevy počasí, kdy můžeme jmenovat pozdní mrazy nebo dlouhodobá sucha, jakožto představitele možných důsledků globálních klimatických změn, alespoň zároveň se svými problémy také vedou, zejména v posledních letech, ke zvýšenému zájmu širší veřejnosti o tuto problematiku. Změna klimatu je totiž všeobecný globální problém, který je potřeba řešit kooperací na nadnárodní úrovni.

Odpověď na hypotézu: Jsou víceleté plodiny více zranitelné vůči změně klimatu?

Víceleté plodiny jsou v některých ohledech více zranitelné vůči změně klimatu než ty jednoleté. Jedním z důvodů může být fakt, že víceleté plodiny jsou vystaveny extrémním vlivům počasí ve větším počtu sezón a v delším časovém horizontu. Některé dopady extrémního počasí mohou být zvláště škodlivé v případě nečekaných mrazů porostu pro pšenici, kukuřici nebo meruňky; jarní sucha pro ječmen nebo přivalové deště střídající se s periodami sucha pro vinou révu či chmel.

Dalším faktorem je, že mnoho druhů víceletých plodin má specifické nároky na klimatické podmínky. Například potřeba určitého množství chladného počasí k dormanci nebo dostatečná vlhkost během období růstu. Pokud se tyto podmínky spolu s klimatem mění, mohou být víceleté plodiny poškozeny větší měrou. Víceleté plodiny také mohou být více zranitelné vůči změnám v půdních vlastnostech. Například zvýšení teploty a snížení srážek může vést k degradaci půdy a zvýšenému riziku eroze.

Nicméně, pro jednoleté plodiny může být nevýhodou jejich krátká vegetační doba, během které nejsou schopné znovu nabrat síly nebo chvíli nepříznivé období přečkat bez velké úhony, tak jako rostliny víceleté.

Lze tedy hovořit o dvou hlavních rozlišujících aspektech: víceleté plodiny jsou náchylnější na jarní mrazíky a kroupy a jednoleté plodiny na suchu.

7 Literatura

- AGRObase, 2021. Věda a výzkum – Agroklimatické podmínky. Available from: https://www.vurv.cz/wp-content/uploads/2021/03/Agroklimaticke-podminky-Agrobase-2_2021.pdf (accessed February 2022)
- agropocasi, 2023. Prahové hodnoty teploty vzduchu, půdy a úhrnu srážek pro jednotlivé plodiny. ČZU, Praha. Available from: <https://agropocasi.cz/plodiny/ovocne-dreviny> (accessed February 2023)
- ALLEN RG, PEREIRA L, RAES D, SMITH M, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop requirements. *FAO Irrigation and Drainage*. **285**:19-40
- ARSENOVIĆ D, LEHNERT M, FIEDOR D, ŠIMÁČEK P, STŘEDOVÁ H, STŘEDA T, SAVIĆ S, 2019. Heat-waves and mortality in Czech cities: A case study for the summers of 2015 and 2016. *Geographica Pannonica*. **23**(3), 162–172. ISSN 0354-8724, 1820-7138. Available from: doi:10.5937/gp23-22853 (accessed April 2022)
- BAŽANT Z, 2004. Pěstujeme meruňky. 1. vyd. *Grada Publishing*, Praha, 100 s. ISBN 80-247-0873-6
- BOCK A, SPARKS TH, ESTRELLA N, MENZEL A, 2013. Climate-Induced Changes in Grapevine Yield and Must Sugar Content in Franconia (Germany) between 1805 and 2010. *PLoS ONE*, **8**(7). ISSN 1932-6203.
- BRÁZDIL R, et al, 1995. Dopady možné změny klimatu na zemědělství v České republice: územní studie změny klimatu pro Českou republiku: element 2. Český hydrometeorologický ústav, 139 s., ISBN 80-85813-26-2
- BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA, 2015. Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Brno ISBN 978-80-87902-11-0.
- BRÁZDIL, Rudolf, Kateřina CHROMÁ, Petr DOBROVOLNÝ a Radim TOLASZ, 2008. Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. *International Journal of Climatology* [online]. **29**(2), 223–242. ISSN 08998418. Available from: doi:10.1002/joc.1718
- BRÁZDIL, Rudolf, Pavel ZHRADNÍČEK, Petr DOBROVOLNÝ, Jan ŘEHOŘ, Miroslav TRNKA, Ondřej LHOTKA a Petr ŠTĚPÁNEK, 2022. Circulation and Climate Variability in the Czech Republic between 1961 and 2020: A Comparison of Changes for Two “Normal” Periods. *Atmosphere*. **13**(1), 137. ISSN 2073-4433. Available from: doi:10.3390/atmos13010137 (accessed March 2023).
- BRILIANTE L, MATHIEU O, LÉVÉQUE J, BOIS B, 2016. Ecophysiological Modeling of Grapevine Water Stress in Burgundy Terroirs by a Machine-Learning Approach, Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00796/full> (accessed April 2022)
- BROWN JF, WARDLOW BD, TADESSE T, HAYES MJ, REED BC, 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GISci. Remote Sens.*, **45**, 16–46, doi:10.2747/1548-1603.45.1.16.
- CARDELL MF, AMENGUAL A, ROMERO R, RAMIS C, 2020. Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *International Journal of Climatology*. **40**(11), 4800–4827. ISSN 0899-8418, 1097-0088. Available from: doi:10.1002/joc.6490 (accessed March 2023)
- ČHMÚ, 2021. Změna klimatu. Available from: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace> (accessed January 2022)
- ČHMÚ, 2022. Historické extrémy – Extrémní denní teploty. Available from: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/historicke-extremy> (accessed February 2023)
- ČHMÚ, 2022. Monitoring Sucha. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Available from: <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#> (accessed March 2023).
- ČHMÚ, 2023. Informační stránky Českého hydrometeorologického ústavu. Available from: <http://www.infomet.cz>. (accessed February, 2023)
- ČSÚ, 2021. Katalog produktů: Integrované šetření v zemědělství – 2020. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/zemedelstvi-celkem-5baq977uio> (accessed March 2022)
- ČSÚ, 2022. Veřejná Databáze: Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin. Available from: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jspx?_af=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442_!_ZEM02G-plocha_1#w= (accessed March 2022).
- ČSÚ, 2023. Veřejná databáze. Výkazy, sber dat. Available from: <https://www.czso.cz/csu/vykazy/vykazy-sber-dat> (accessed March 2023).

ČÚZK, 2022. Statistické údaje: Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky. Available from: <https://cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu.aspx> (accessed March 2022)

DHAKHWA GB, CAMPBELL CL, LEDUC SK, COOLER EJ. 1997. Maize growth: Assessing the effects of global warming and CO₂ fertilization with crop models. *Agric. For. Meteorol.* Available from [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00030-0)

DUCHÊNE E, HUARD F, DUMAS V, SCHNEIDER C, MERDINOGLU D, 2010. The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Research* **41**(3), 193–204. ISSN 0936-577X, 1616-1572. Available from: [doi:10.3354/cr00850](https://doi.org/10.3354/cr00850) (accessed December 2022)

eAGRI, 2017. Production of Beverages. Ministerstvo zemědělství © 2009-2022. Available from: <https://eagri.cz/public/web/en/mze/food-industry/production-of-beverages/> (accessed April 2022).

eAGRI, 2017. Zákon č. 321/2004 Sb., o vinohradnictví a vinařství v České republice. Available from: <http://eagri.cz/public/web/vinarsky-zakon/> (accessed March 2022).

eAGRI, 2020. Ministry of Agriculture of the Czech Republic. News (2016-2020), [cit. 2022-03]. Available from: <http://eagri.cz/public/web/en/mze/> (accessed March 2022).

eAGRI, 2022. Půda – Degradace půd – Podmáčení půdy. Ministerstvo zemědělství © 2009-2022. Available from: <https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/podmaceni-pudy/> (accessed April 2022).

EKOLIST, 2022. Lesy se méně „potí“. Krajina se potom přehřívá. Available from: <https://ekolist.cz> (accessed January 2023)

eMS, 2020. Meteorologický slovník výkladový a terminologický, ČMeS. Available from: <http://slovník.cmes.cz>. (accessed March 2022)

FAMĚRA O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. *Institut výchovy a vzdělávání*, Praha: Ministerstva zemědělství ČR, 1. vyd., 51 s. ISBN 80-7105-045-8.

GIBBS WJ, 1975. Drought — its definition, delineation and effects. In: Special Envir. Report No.5. World Meteorological Organization, Geneva, 1–39

GÖTZ A, 1995. Geografie zemědělství ČR. 1. vyd. Plzeň: *Pachart Publishing House*. 100 s. ISBN 80-7043-145-8.

HANNAH L, ROEHRDANZ PR, IKEGAMI M, SHEPARD AV, SHAW MR, TABOR G, ZHI L, MARQUET PA, HIJMANS RJ, 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **110**(17), 6907–6912 pp. ISSN 0027-8424, 1091-6490. Available from: [doi:10.1073/pnas.1210127110](https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110) (accessed April 2022).

HEIM R.R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **83**: 1149–1165.

HEJMALOVÁ H, ŠPERKOVÁ R, 2014. Assessment of attractiveness of the wine-production industry in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. **59**(2), 89–98. ISSN 12118516, 24648310. Available from: [doi:10.11118/actaun201159020089](https://doi.org/10.11118/actaun201159020089) 9 (accessed January 2023).

HENNING JA, GENT DH, TOWNSEND MS, WOODS JL, HILL ST, HENDRIX D. 2017. QTL analysis of resistance to powdery mildew in hop (*Humulus lupulus* L.) *Euphytica*, **213**, pp. 411-420

HEROUT M, 2017. Technologie pěstování – Metoda strip-till aneb jak pěstovat kukuřici šetrně. *Agromanual.cz*. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/metoda-strip-till-aneb-jak-pestovat-kukurici-setrne> (accessed April 2022).

HINER C, TOWNSEND Ch, LAVY L, 2014. Harm J. de Blij's 1983 Wine: A Geographic Appreciation. *Progress in Physical Geography*, **38**, no. 5, 674-684 pp.

HLAVINKA P, TRNKA M, SEMERÁDOVÁ D, DUBROVSKÝ M, ŽALUD Z, MOŽNÝ M, 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. **149**(3–4), 431–442. ISSN 01681923. Available from: [doi:10.1016/j.agrformet.2008.09.004](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.09.004) (accessed May 2022)

HLAVINKA, Petr, Miroslav TRNKA, Jan BALEK, et al., 2011. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*. **98**(8), 1249-1261, ISSN 03783774. Available from: [doi:10.1016/j.agwat.2011.03.011](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.03.011) (accessed April 2022)

HLUŠEK J, et al. 2015: Réva vinná, Profi Press s. r. o., Praha, 151 s.

HROUDEK T, 2012. Metody stanovení evapotranspirace a její hodnoty v České republice [BSc. Thesis]. Jihočeská univerzita, České Budějovice.

HRUDOVOVÁ E. 2011. Abionozologie pro rostlinolékaře. Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství. Available from: http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm (accessed February 2022).

CHARTERS S, PETTIGREW S, 2007. The dimensions of wine quality. *Food Quality and Preference*. **18**(7), 997–1007. ISSN 09503293. Available from: doi:10.1016/j.foodqual.2007.04.003 (accessed February 2023).

CHLOUPEK O, HRSTKOVÁ P, SCHWEIGERT P, 2004. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Research*, vol. 85, no. 3, p. 167–190.

INTERSUCHO, 2022. O suchu: Co je sucho. Ústav výzkumu globální změny AV ČR. Available from: <https://www.intersucho.cz/cz/o-suchu/co-je-sucho/> (accessed January 2022).

IPCC, 2021: Index. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

JONES G, ALVES F, 2012. Impacts of Climate Change on Wine Production: A Global Overview and Regional Assessment in the Douro Valley of Portugal. *International Journal of Global Warming*, 4, no. 3, s. 383–406

JONES GV, WHITE MA, COOPER RO, STORCHMANN K, 2005. Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*. **73**(3), 319–343. ISSN 0165-0009, 1573-1480. Available from: doi:10.1007/s10584-005-4704-2 (accessed February 2022)

KAPLAN Z, DANIHELKA J, CHRTEK J., KIRSCHNER J, KUBÁT K, ŠTECH M, ŠTĚPÁNEK J, 2019. Klíč ke květeně České republiky. Ed. 2. Academia, Praha. 1 168 pp., ISBN 978-80-200-2660-6

KARLÍK T, 2019. Moravské víno v proměnách klimatu: daří se modrým odrudám, sucho zatím moc nevadí. ČT24, ČTK, Available from: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2770154-moravske-vino-v-promenach-klimatu-dari-se-modrym-odrudam-sucho-zatim-moc-nevadi>. (accessed April 2023).

KINCL D, 2018. Technologie pásového zpracování půdy. VÚMOP v.v.i., Available from: <https://docplayer.cz/172753816-Technologie-pasoveho-zpracovani-pudy-strip-till-novy-vyrobek-spolecnosti-p-l-eco-tiller.html> (accessed April 2022)

Klimatickazmena, 2022. Available from: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/> (accessed February 2023)

KLIMAWEB, 2022. Konvekční a vrstevnaté srážky. Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Available from: <http://www.klimaweb.cz/konvekcni-a-vrstevnate-srazky> (accessed March 2022).

KLIMAWEB, 2022. Vlny veder. Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Available from: <http://www.klimaweb.cz/vlny-veder> (accessed March 2022).

KLÍR J, 2022. Teplé zimy a jarní mrazy – růst a odolnost ozimů. Výzkumný ústav rostlinné výroby (VÚRV). Available from: <https://www.vurv.cz/2022/03/04/teple-zimy-a-jarni-mrazy-rust-a-odolnost-ozimu/>, (accessed March 2022)

KOČÍ P, 2020. Mapa sněhu: letos je ho extrémně málo. Klimatické modely ukazují, že bude čím dál vzácnější. iROZHLAS, Available from: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/priroda/klima-snih-hory-pololeti-prazdniny_2001310600_pek (accessed February 2022)

KOLÁŘ P, 2010. Dopady klimatu a meteorologických extrémů na produkci vybraných zemědělských plodin na jižní Moravě v letech 1961-2007 [MSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.

KWS, 2012. Kukuřice do kapsy. KWS OSIVA s.r.o., Velké Meziříčí, 166 s.

KYSELÝ, Jan a Bohumír KRÍŽ, 2008. Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response? *International Journal of Biometeorology* **52**(8), 733–745. ISSN 0020-7128, 1432-1254. Available from: doi:10.1007/s00484-008-0166-3

LHOTKA O, KYSELÝ J, FARDA A, 2018. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology*. **131**(3–4), 1043–1054. ISSN 0177-798X, 1434-4483. Available from: doi:10.1007/s00704-016-2031-3 (accessed April 2022).

LHOTKA O, TRNKA M, KYSELÝ J, MARKONIS Y, BALEK J a MOŽNÝ M, 2020. Atmospheric Circulation as a Factor Contributing to Increasing Drought Severity in Central Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. **125**(18). ISSN 2169-897X, 2169-8996. Available from: doi:10.1029/2019JD032269 (accessed April 2022).

MACHOLÁNOVÁ L, 2015. Agroklimatické hodnocení lokality z pohledu pěstování vinné révy [BSc. Thesis]. Mendelova univerzita, Brno.

MAITAH M., MALEC K., MAITAH K., 2021. Influence of precipitation and temperature on maize production in the Czech Republic from 22 to 2019. *Scientific Reports* **11** (1), 10467. Doi. 10.1038/s41598-021-89962-2

MCKIE R, 2017. Maize, rice, wheat: alarm at rising climate risk to vital crops. *The Guardian*. Available from: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jul/15/climate-change-food-famine-study>.

- MOSEDALE JR, Abernethy KE, Smart RE, Wilson RJ, Maclean IMD, 2016. Climate change impacts and adaptive strategies: lessons from the grapevine. *Glob Change Biol*, **22**: 3814-3828. <https://doi.org/10.1111/gcb.13406>
- MOŽNÝ M, TOLASZ R, NEKOVAR J, PARKS T, TRNKA M, ŽALUD Z, 2009. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. **149**(6–7), 913–919. ISSN 01681923. Available from: doi:10.1016/j.agrformet.2009.02.006 (accessed March 2022).
- MOŽNÝ M, TRNKA M, BRÁZDIL R, 2021. Climate change driven changes of vegetation fires in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*. **143**(1–2), 691–699. ISSN 0177-798X, 1434-4483. Available from: doi:10.1007/s00704-020-03443-6 (accessed April 2022).
- MPO, 2021. Statistika: Obnovitelné zdroje energie v roce 2020. Available from: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2020--263512/> (accessed March 2022).
- MZe, 2019. Situační a výhledová zpráva: Obiloviny. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 113 s. ISBN 978-80-7434-552-4. ISSN 1211-7692.
- MZe, 2020. Situační a výhledová zpráva: Chmel, Pivo. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 71 s. ISBN 978-80-7434-575-3, ISSN 1211-7692.
- MZe, 2020. Situační a výhledová zpráva: Obiloviny. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 113 s. ISBN 978-80-7434-611-8. ISSN 1211-7692.
- MZe, 2020. Situační a výhledová zpráva: Réva vinná a Víno. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 65 s. ISBN 978-80-7434-585-2. ISSN 1211-7692.
- MZE, 2020. Situační a výhledová zpráva: Réva vinná a Víno. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 65 s. ISBN 978-80-7434-585-2. ISSN 1211-7692
- MZe, 2021. Situační a výhledová zpráva: Chmel, Pivo. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 70 s. ISBN 978-80-7434-631-6, ISSN 1211-7692.
- MZe, 2021. Situační a výhledová zpráva: Réva vinná a Víno, 2021. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 71 s. ISBN 978-80-7434-628-6. ISSN 1211-7692.
- MZE, 2021. Situační a výhledová zpráva: Réva vinná a Víno. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 71 s. ISBN 978-80-7434-628-6. ISSN 1211-7692
- MZe, 2022. Situační a výhledová zpráva: Chmel, Pivo. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 75 s. ISBN 978-80-7434-678-1, ISSN 1211-7692.
- MZE, 2022. Situační a výhledová zpráva: Réva vinná a Víno. Odbor potravinářský MZe. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 69 s. ISBN 978-80-7434-675-0, ISSN 1211-7692
- NAVRÁTILOVÁ M, BERANOVÁ M, SEVEROVÁ L, ŠRÉDL K, SVOBODA R, ABRHÁM J, 2020. The Impact of Climate Change on the Sugar Content of Grapes and the Sustainability of their Production in the Czech Republic. *Sustainability*. **13**(1), 222. ISSN 2071-1050. Available from: doi:10.3390/su13010222 (accessed January 2022).
- NEDELCEV O, JENICEK M, 2021. Trends in seasonal snowpack and their relation to climate variables in mountain catchments in Czechia. *Hydrological Sciences Journal*. **66**(16), 2340–2356. ISSN 0262-6667, 2150-3435. Available from: doi:10.1080/02626667.2021.1990298 (accessed February 2022)
- NESVADBA V, KROFTA K, 2002. New hop variety Agnus as the result of breeding process innovation in the Czech Republic. *ROSTLINNA VYROBA*. 48.11: 513-517.
- NESVADBA V, KROFTA K, PATZAK J, 2022. Atlas českých odrůd chmele. Chmelařský institut s.r.o., Žatec. ISBN 978-80-86836-60-7
- NOVÁK P, MAŠEK J, 2020. Mechanizace - Technologie zpracování půdy s ohledem na erozní ohrožení. [ohledem-na-erozni-ohrozeni](https://www.vinarskecentrum.cz/ohledem-na-erozni-ohrozeni) (accessed April 2022)
- NVC, 2020. O víně - Vinařské regiony v ČR. Available from <https://www.vinarskecentrum.cz/o-vine/vinarske-regiony-v-cr> (accessed March 2022).
- OPATRŇÝ Z, NEDELOVÁ J, ČÍŽKOVÁ V, 2019. Geneticky modifikované rostliny odolné k suchu a zasolení. Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální biologie rostlin, Univerzita Karlova, DOI: 10.14712/25337556.2019.4.2
- PATZAK J, HENYCHOVÁ A, 2018: Evaluation of genetic variability within actual hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars by enlarged set of molecular markers. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, **54**: 86–91
- PAVLOUŠEK P, 2013. Zatravnění, nebo ozelenění vinic?. *Vinařský obzor*, roč. 105, č. 3, s. 132 – 134. ISSN: 1212-7884.
- PAVLOUŠEK P, 2014. Možnosti ozelenění nových výsadeb. *Vinařský obzor*, 2014, roč. 107, č. 4, s. 182 – 183. ISSN: 1212-7884.
- PAVLOUŠEK P, 2014. Možnosti využití závlahy ve vinohradnictví. *Vinařský obzor*, roč. 107, č. 11, s. 553 – 555. ISSN: 1212-7884.
- PAVLOUŠEK, P. 2011: Pěstování révy vinné. *Moderní vinohradnictví*, Grada Publishing a.s., Praha, 337 s.

- POORTER, H., 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration. *Vegetation* Available from <https://doi.org/10.1007/BF00048146>
- POTOP V, Martin MOŽNÝ a Josef SOUKUP, 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. **156**, 121–133. ISSN 01681923. Available from: doi:10.1016/j.agrformet.2012.01.002 (accessed March 2022)
- POTOP V, TÜRKOTT L, KOŽNAROVÁ V, 2009. Drought impact on variability crop yields in Central Bohemia. *Cereal Research Communications*. **37**(2), 295–304. ISSN 0133-3720, 1788-9170. Available from: doi:10.1556/CRC.37.2009.2.18 (accessed March 2022)
- PRÁŠIL IT, 2021. Přezimování, jarní mrazy a poškození ozimů. Kurent, s.r.o., Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/prezimovani-jarni-mrazy-a-poskozeni-ozimu> (accessed April 2023)
- PRÁŠIL IT., MUSILOVÁ J., PRÁŠILOVÁ P., KOSOVÁ K., VÍTÁMVÁS P., KLÍMA M., 2018: Odolnost pšenice vůči zimním stresům. *Úroda* 8, 15 - 17.
- PRÁŠIL IT., MUSILOVÁ J., PRÁŠILOVÁ P., KOSOVÁ K., VÍTÁMVÁS P., KLÍMA M., 2019. Změna klimatu a zimovzdornost pšenice. In: Salaš P. (Ed.) „Rostliny v suchých oblastech a klimatická změna“ Lednice 23 – 24. 10. 2019. *Zahradnictví. Vědecká příloha XVIII (11): 72 - 76. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha*
- PRÁŠIL, Ilja Tom, Pavla PRÁŠILOVÁ a Petr MARTINEK, 2004. Globální oteplování a vymrznutí polních plodin: Proč rostliny nemusejí přežít zimu. *Vesmír*. **83**(12), 692.
- PROCHMEL, 2023. Projekt PRO CHMEL zmapoval letošní neobvyklé chování chmele: Pěstitelé získají zavlažovací aplikaci. *Prochmel.cz*. Available from: <https://prochmel.cz/projekt-pro-chmel-zmapoval-letosni-neobvykle-chovani-chmele-pestitele-ziskaji-zavlazovaci-aplikaci/> (accessed March 2023).
- PROKEŠ K, 2018. Vliv klimatické změny na kukuřici: Effect of climate change on maize. KWS OSIVA s.r.o. Sborník z konference „Prosperující olejniny“ 125-129 s.
- RAGASOVÁ L, KOPTA T, WINKLER J, POKLUDA R, 2019. The Current Stage of Greening Vegetation in Selected Wine-Regions of South Moravian Region (Czech Republic). *Agronomy*. **9**(9), 541. ISSN 2073-4395. Available from: doi:10.3390/agronomy9090541 (accessed March 2022)
- RAHMSTORF S, COUMOU D, 2011. Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **108**(44), 17905–17909. ISSN 0027-8424, 1091-6490. Available from: doi:10.1073/pnas.1101766108 (accessed December 2022)
- RATHORE MS, 2004. State level analysis of drought policies and impacts in Rajasthan, India, Vol. 93. IWMI.
- ROD J, 2012. Broskvoně a meruňky - abiotické poruchy, choroby a škůdci. Available from: <https://docplayer.cz/69140414-Broskvone-a-merunky-abioticke-poruchy-choroby-a-skudci.html> (accessed March 2023)
- ROŽNOVSKÝ J, 2011. Analýza extrémů počasí vzhledem k zemědělským plodinám. Ministerstvo zemědělství, Available from: https://eagri.cz/public/web/file/322905/Analyza_extremu_pocasi_vzhledem_k_zem_plodinam.pdf (accessed March 2022)
- RYBÁČEK V, 1991. Hops production and science on a new path. *ROSTLINNÁ VÝROBA*, **37**(8): 625-626.
- SBARDELLA M, RACANICCI AMC, GOIS DF, DE LIMA CB, MIGOTTO DL, COSTA LB, MIYADA VA, 2018. Effects of dietary hop (*Humulus lupulus* L.) β -acids on quality attributes, composition and oxidative stability of pork meat: Hop β -acids affect lipid content and oxidation of pork meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **98**(6), 2385–2392. ISSN 00225142. Available from: doi:10.1002/jsfa.8730 (accessed March 2022)
- SCHULTZ HR, 2016. Global Climate Change, Sustainability, and Some Challenges for Grape and Wine Production. *Journal of Wine Economics* **11**(1), 181–200. ISSN 1931-4361, 1931-437X. Available from: doi:10.1017/jwe.2015.31 (accessed February 2022)
- SKLÁDANKA, J. et al, 2014: Pícninářství. *Reprotisk s.r.o.*, Brno: Mendelova univerzita v Brně, 368 s. ISBN 978-80-7509-111-6.
- SLAVÍK B, ŠTĚPÁNKOVÁ J, 2004. Květena České republiky. *Academia*, Praha, 768 s.
- SOBÍŠEK B et al, 1993: Meteorologický slovník výkladový terminologický. *ACADEMIA a MŽP ČR*, ISBN 80-85368-45-5.
- Statistika&My, 2021. Zemědělství. Český statistický úřad. Available from: <https://www.statistikaamy.cz/cesko-v-cislech/zemedelstvi> (accessed December 2022).
- STŘEDA T, ROŽNOVSKÝ J, 2006. Vliv teplotních sum na nástup fenofáze „počátek kvetení“ u meruňky (*Prunus armeniaca* L.). Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed): „Fenologická odezva proměnlivosti podnebí“, Brno 22.3.2006, ISBN 80-86690-35-0
- STŘEDA, T., H. STŘEDOVÁ, J. ROŽNOVSKÝ, 2011. Podmínky Pro Přezimování Polních Plodin v Kontextu Vývoje Klimatu. Mendelova univerzita v Brně, Český hydrometeorologický ústav, Brno

- SŮKALOVÁ V, 2010. Analýza faktorů ovlivňující objem produkce vína v konkrétní vinařské firmě. Diplomová práce, Mendelova univerzita, Brno, 105 s.
- SVOBODOVÁ I, VĚŽNÍK A, KRÁL M, 2014. Viticulture in The Czech Republic: Some Spatio-Temporal Trends. *Moravian Geographical Reports*. **22**(1), 2–14. ISSN 1210-8812. Available from: doi:10.2478/mgr-2014-0001 (accessed January 2023)
- SZIF, 2023. Podpora na produkci chmele. Available from: <https://www.szif.cz/cs/chmel> (accessed March 2023)
- ŠRÉDL K, PRÁŠILOVÁ M, SVOBODA R, SEVEROVÁ L, 2020. Hop production in the Czech Republic and its international aspects. *Heliyon*. **6**(7), e04371. ISSN 24058440. Available from: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04371 (accessed January 2023)
- TOLASZ R, T. MÍKOVÁ, A. VALERIÁNOVÁ, V. VOŽENÍLEK, 2007. Atlas podnebí Česka - Climatic Atlas of Czechia. Český hydrometeorologický ústav Praha / Univerzita Palackého v Olomouci, 254 s.
- TRNKA M, OLESEN JE, K. C. KERSEBAUM, A. O. SKJELVÅG, J. EITZINGER, B. SEGUIN, P. PELTONEN-SAINIO, R. RÖTTER, Ana IGLESIAS, S. ORLANDINI, M. DUBROVSKÝ, P. HLAVINKA, J. BALEK, H. ECKERSTEN, E. CLOPPET, P. CALANCA, A. GOBIN, V. VUČETIĆ, P. NEJEDLIK, S. KUMAR, B. LALIC, A. MESTRE, F. ROSSI, J. KOZYRA, V. ALEXANDROV, D. SEMERÁDOVÁ a Z. ŽALUD, 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change: AGROCLIMATIC CONDITIONS IN EUROPE UNDER CC. *Global Change Biology* [online]. **17**(7), 2298–2318. ISSN 13541013. Available from: doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x
- TRNKA M, ŠTĚPÁNEK P, CHUCHMA F, MOŽNÝ M, BARTOŠOVÁ L, HLAVINKA P, BALEK J, ZAHRADNÍČEK P, SKALÁK P, FARDA A, SEMERÁDOVÁ D, MEITNER J, BLÁHOVÁ M, FIALA R, ŽALUD Z, 2017. Metodika pro praxi - Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě. ÚVGVZ AV ČR, ČHMÚ, Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-87902-23-3
- TRNKA, M. et al., 2020. Agroklimatické podmínky let 2019 a 2020 v kontextu trendů minulých let i předpokládaného vývoje klimatu. Úroda. Available from: <https://uroda.cz/agroklimaticke-podminky-let-2019-a-2020-v-kontextu-trendu-minulych-let-i-predpokladaneho-vyvoje-klimatu/> (accessed April 2022).
- TRNKA, Miroslav, Rudolf BRÁZDIL, Jan BALEK, Martin DUBROVSKÝ, Josef EITZINGER, Petr HLAVINKA, Filip CHUCHMA, Martin MOŽNÝ, Ilja PRÁŠIL, Pavel RŮŽEK, Daniela SEMERÁDOVÁ, Petr ŠTĚPÁNEK, Pavel ZAHRADNÍČEK a Zdeněk ŽALUD, 2021. Observed changes in the agroclimatic zones in the Czech Republic between 1961 and 2019. *Plant, Soil and Environment*. **67**(No. 3), 154–163. ISSN 12141178, 18059368. Available from: doi:10.17221/327/2020-PSE
- ÚKZÚ, 2022. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Rostlinolékařský portál. ÚKZÚ © 2014 – 2022, Available from: https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|domu|uvod (accessed April 2022).
- ÚKZÚ, 2023. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Ministerstvo zemědělství. eAgri © 2009–2023, Available from: <https://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/roslinne-komodity/> (accessed January 2023).
- ÚKZÚZ, 2022. Úroda chmele je nejnižší za posledních 10 let. eagri.cz, Available from: <https://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/uroda-chmele-2022-nejnizsi.html> (accessed January 2023)
- VÁVRA M, 1961. Kniha o ovocném stromu. SZN - Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 447 s.
- VENCLOVÁ B, 2021. Stav porostů ozimů po mrazivém období. Úroda, *Profi Press s.r.o.*, Available from: <https://uroda.cz/stav-porostu-ozimu-po-mrazivem-obdobi/> (accessed April 2022).
- VENIOS X, KORKAS E, NISIOTOU A, BANILAS G, 2020. Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants*. **9**(12), 1754. ISSN 2223-7747.
- VENT L, FRIC V, BLATNY C, et al., 1963. Hop Growing. SZN Praha, 409 pp.
- VÚMOP, 2020. Půda v číslech – Trvale zamokřené půdy. ©VÚMOP, v.v.i. [cit.2022-04]. Available from <https://statistiky.vumop.cz/?core=stat&kind=tzp&year=2019>
- WILHITE, Donald A., ed., 2005. *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. ISBN 978-1-4200-2838-6. Available from: doi:<https://doi.org/10.1201/9781420028386> (accessed February 2023)
- WMO. Guidelines on the Calculation of Climate Normals [online]. Geneva, 2017 (WMO-No. 1203), 29 pages. Available from: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166
- ZAHRADNÍČEK P, 2022. Letošní zima byla zase málo bohatá na sníh. Blog o meteorologii, hydrologii a kvalitě ovzduší, Brno, Available from: <https://chmibrno.org/blog/2022/03/30/letosni-zima-byla-zase-malo-bohata-na-snih/> (accessed April 2022).
- ZAHRADNÍČEK, P, J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK, A. FARDA, J. BRZEZINA, 2016. The effects of changes in snow depth on winter recreation. *Journal of Landscape Management*. Mendelova Univerzita, Brno. **7**(1).

ZAHRADNÍČEK, Pavel, Rudolf BRÁZDIL, Jan ŘEHOŘ, Ondřej LHOTKA, Petr DOBROVOLNÝ, Petr ŠTĚPÁNEK a Miroslav TRNKA, 2022. Temperature extremes and circulation types in the Czech Republic, 1961–2020. *International Journal of Climatology* [online]. joc.7505. ISSN 0899-8418, 1097-0088. Available from: doi:10.1002/joc.7505

ZAHRADNÍČEK, Pavel, Rudolf BRÁZDIL, Petr ŠTĚPÁNEK and Miroslav TRNKA, 2021. Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961-2019. *International Journal of Climatology*. Hoboken: Wiley, vol. 41, No 2, p. 1211-1229. ISSN 0899-8418. doi:10.1002/joc.6791.

ZAHRADNÍKOVÁ E., 2018. Hydrologické sucho a jeho dopad na životní prostředí [BSc. Thesis]. Česká Zemědělská Univerzita, Praha.

ZELENÝ L, 2017. Protimrazové svíce chrání kvetoucí stromy před mrazíky. Available from: WWW: http://www.ireceptar.cz/zahrada/uzitkova_zahrada/protimrazove-svice-chrani-kvetouci-stromy-pred-mraziky/ (accessed December 2022)

ZIMOLKA J et al, 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press s. r. o., Praha, 181 s. ISBN - 9788086726090

ZIMOLKA J, SVOBODA M., 2008: Obilniny. s. 26–66. In: ZIMOLKA J. et al. (ed): *Speciální produkce rostlinná – rostlinná výroba (Polní a zahradní plodiny, základy pícninářství)*. 2. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 245 s. ISBN 978-80-7375-230-9

ŽALUD Z, 2021. Vliv klimatické změny na produkci zemědělských plodin. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=Li6k6uS0B74> (accessed April 2022)

ŽALUD Z, TRNKA M, HLAVINKA P et al, 2020. Zemědělské sucho v České republice – vývoj, dopady a adaptace. Praha: Agrární komora České republiky. ISBN 978-80-88351-02-3.