

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



Vliv sucha na městské trávníky

Bakalářská práce

Autor práce: Radka Kolbabová

Obor studia: Zahradnictví

Vedoucí práce: Ing. Zuzana Hrevušová, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv sucha na městské trávníky" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.04.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí své bakalářské práce paní doktorce Ing. Zuzaně Hrevušové, Ph.D., za odborné vedení, věnovaný čas, ochotu i trpělivost a snahu vyhovět mým časovým možnostem při skloubení práce, rodiny a studia.

Dále bych chtěla poděkovat mojí mamince, která ve mě od samého začátku věřila, psychicky mě podporovala a měla radost, že jsem se i v mém věku dala na studium. Dále, mému manželovi, který už takovou radost neměl, ale přesto mě velkoryse umožnil studovat, a také mým oběma milovaným dětem, které byly velice tolerantní a snad jsem jim byla i studijním vzorem. Moc vám všem z celého srdce děkuji, bez Vás a Vaší podpory bych to nezvládla.

Vliv sucha na městské trávníky

Souhrn

Trávníky jsou jedním z nejdůležitějších a nejčastěji využívaných typů městské zelené infrastruktury. Poskytují všechny ekosystémové služby ostatních typů vegetace, tvoří nejběžnější součást otevřených zelených ploch a při správném založení a údržbě, mají jedinečné a nezastupitelné funkce. Jednou z hlavních hodnot běžných trávníků je prostor, který poskytují pro společenské aktivity, odpočinek, venčení psů a sport. Další důležitou funkcí je využití trávníků jako estetického zázemí pro architekturu a výtvarné prvky. Intenzivní péče o městské trávníky je celosvětově rozšířená, a to především z estetických důvodů. Avšak negativní ekologické a environmentální dopady této praxe, zvyšující se ekonomické náklady na ošetřování, čím dál tím vzácnější voda a nevyhnutelná změna klimatu ukazují, že je čas zvážit plochy trávníků v městském plánování jako přínosné a hledat udržitelné alternativy.

Alternativy k intenzivním trávníkům jsou obvykle inspirovány různými travnatými ekosystémy nebo biomy s nízkou rostoucí vegetací, které snesou horko a sucho. Většina existujících alternativ však není ekvivalentní běžnému trávníku – odolnému drnu, který odolá rekreačnímu tlaku. Účelem řešení používání alternativní vegetace, je snížit počet nevyužívaných travnatých ploch a vyhnout se homogenitě využitím různých vzorů krajinného designu, jakož i zajištění větší biodiverzity, a tím i šetrnosti k životnímu prostředí.

Zásadním problémem jsou stále omezenější zásoby vody. Nalezení kultivarů, které používají méně vody při zachování přijatelné kvality, může zmírnit požadavky na zavlažování. Také experimenty, které by prozkoumaly genotypové variace v morfologických, anatomických a fyziologických reakcích kořenů na stres ze sucha, by usnadnily šlechtitelské programy a postupy řízení pro zlepšení odolnosti trávníků vůči suchu. Další možností, jak zmírnit požadavky na zavlažování, je nahrazení intenzivních trávníků stabilnějšími suchomilnými travobylinnými společenstvy s nižším počtem sečí a větší odolností vůči absenci srážek. Nicméně pobytové a rekreační aktivity se realizují přece jen lépe na sečených trávnících než na lučních porostech. Kromě různých mechanických opatření (např. vertikutace, aerifikace, pískování, hnojení, sečení) lze omezit nebezpečí vodního stresu rostlin i s využitím speciálních přípravků na přírodní či syntetické bázi, které mohou při vhodném dávkování kladně ovlivňovat půdní vlastnosti a optimalizovat vodní režim rostlin. Pomocné půdní látky, které umí zadržet vodu a následně ji pozvolně uvolňovat, mohou rostlinám pomoci přežít kritická období sucha. Společně s pěstováním suchovzdorných druhů rostlin mohou významně zvýšit efektivitu ozeleňování krajiny.

Cenným výstupem v úsilí budování zelené infrastruktury je plánování a vytváření zelených ploch, které pomáhají udržovat čistý vzduch, lepší kvalitu vody, snižovat znečišťující látky, zmírňovat hluk, podporují pozitivní emoce obyvatel města a mají další prospěšné funkce v městských oblastech.

Klíčová slova: biodiverzita, suchovzdornost, šlechtění, závlaha, vodní režim půdy, hydroabsorbenty

The effect of drought on urban lawns

Summary

Lawns are one of the most important and most frequently used types of urban green infrastructure. They provide all the ecosystem services of other types of vegetation, form the most common component of open green spaces and, when properly established and maintained, have unique and irreplaceable functions. One of the main values of common lawns is the space they provide for social activities, recreation, dog walking, and sport. Another important function is the use of lawns as an aesthetic backdrop for architecture and visual elements. Intensive management of urban lawns is widespread worldwide, primarily for aesthetic reasons. However, the negative ecological and environmental impacts of this practice, the increasing economic costs of care, increasingly scarce water and inevitable climate change show that it is time to consider lawn areas in urban planning as beneficial and to look for sustainable alternatives.

Alternatives to intensive lawns are usually inspired by various grassland ecosystems or biomes with low-growing vegetation that can tolerate heat and drought. However, most existing alternatives are not equivalent to conventional turf- durable sod that can withstand recreational pressure. The purpose of addressing the use of alternative vegetation, is to reduce the number of unused grassy areas and avoid homogeneity by utilizing different landscape design patterns, as well as providing greater biodiversity and thus environmental friendliness.

A major problem is the increasingly limited water supply. Finding cultivars that use less water while maintaining acceptable quality can alleviate irrigation requirements. Also, experiments to investigate genotypic variation in root morphological, anatomical and physiological responses to drought stress would facilitate breeding programs and management practices to improve drought tolerance of turfgrasses. Another option to alleviate irrigation requirements is to replace intensive grasslands with more stable drought-loving grassland communities with fewer mowings and greater tolerance to the absence of rainfall. Nevertheless, residential and recreational activities are better realised in mown grassland than grassland. In addition to various mechanical measures (e.g. verticutting, aeration, sanding, fertilisation, mowing), the risk of water stress to plants can be reduced by using special natural or synthetic-based products which, when dosed appropriately, can positively influence soil properties and optimise the water regime of plants. Soil amendments that can hold water and then release it slowly can help plants to survive critical periods of drought. Together with the cultivating drought-tolerant plant species, they can significantly increase the efficiency of landscape greening.

A valuable outcome in green infrastructure efforts is the planning and creating green spaces that help maintain clean air, improve water quality, reduce pollutants, mitigate noise, promote positive emotions among city residents, and have other beneficial functions in urban areas.

Keywords: biodiversity, drought resistance, breeding, irrigation, soil water regime, hydroabsorbents

Obsah

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 Úvod | 7 |
| 2 Cíl práce..... | 8 |
| 3 Literární rešerše..... | 9 |
| 3.1 Význam trávníků ve městě..... | 9 |
| 3.1.1 Druhově chudý trávník | 10 |
| 3.1.2 Druhově bohatý trávník | 13 |
| 3.2 Význam vody pro trávníky..... | 16 |
| 3.2.1 Reakce trávníku na stres suchem | 17 |
| 3.2.2 Letní dormance | 18 |
| 3.3 Suchovzdornost trávníku | 20 |
| 3.3.1 Vhodný výběr druhů snášející sucho | 21 |
| 3.3.2 Vliv živin na suchovzdornost trávníku | 23 |
| 3.3.3 Šlechtění | 24 |
| 3.3.4 Morfologie a fyziologie suchovzdorných trav | 25 |
| 3.4 Pomocné půdní látky | 25 |
| 3.4.1 Lignit..... | 27 |
| 3.4.2 Syntetický hydrogel | 27 |
| 3.4.3 Biouhel..... | 27 |
| 3.5 Způsoby pro zlepšení suchovzdornosti trávníku..... | 29 |
| 3.5.1 Závlaha trávníků a vztah k životnímu prostředí | 30 |
| 3.5.2 Vertikutace..... | 31 |
| 3.5.3 Aerifikace | 32 |
| 3.5.4 Pískování..... | 33 |
| 3.5.5 Hnojení | 33 |
| 3.5.6 Seč trávníků s ohledem na sucho..... | 34 |
| 3.6 Zlepšení mikroklima měst s pomocí travních porostů | 36 |
| 3.6.1 Štěrkové trávníky | 37 |
| 3.6.2 Zelené střechy | 38 |
| 3.6.3 Zelené tramvajové pásy | 40 |
| 4 Závěr | 42 |
| 5 Seznam použité literatury | 45 |

1 Úvod

Sucho způsobované změnou klimatu je celosvětovým problémem. Se závlahou travníků v budoucnosti zřejmě počítat moc nemůžeme. Voda bude čím dál víc vzácná a z rostlin poroste jen to, co bude suchu odolné. V tomto směru je šlechtění suchu odolných travních druhů v celé Evropě sice na velmi pokročilé úrovni, ale i přesto voda bude pro nás i pro rostliny vždy velice důležitá. Je třeba si uvědomit, že s rostoucím počtem lidských sídel a komunikací se mění přirozený vodní cyklus, který přispívá k ochlazování měst. Bez dostatečné zeleně ve městech nefunguje přirozený výpar a z měst se stávají tepelné ostrovy (Wang et al. 2016), které brání dešťovým mrakům vstoupit nad městská území. Půda ve městech se tak stává stále sušší a její schopnost vsakování se výrazně snižuje. Tento jev se odborně nazývá tepelný klimatický deštník. Čím méně zeleně ve městech je, tím vyšší jsou ve městech teploty ve srovnání s okolní krajinou (Aram et al. 2019). Voda je naším největším pomocníkem v boji s přehříváním měst a se zmírněním městského tepelného ostrova. Toto by mohl vyřešit koloběh dešťové vody ve městech. Dosavadní snaha odvést dešťovou vodu do kanalizace a pryč z města co nejrychleji není příliš šťastná. Musíme se naučit tuto vodu co nejvíce využívat, nechat ji ve městech zasakovat, a to nejlépe ve veřejné zeleni. Travníkové plochy podstatně mění evapotranspiraci, výměnu oxidu uhličitého (CO₂), energie a vzhledem k jejich prostorovému rozsahu nabývají na významu (Thienelt & Anderson 2021). Chladicí kapacita travníků přímo souvisí s procesem evapotranspirace a velmi závisí na dostupnosti vody (Monteiro 2017). Správně založený travní porost je v tomto směru nenahraditelný. Díky živému pokryvu půdy se dá využít chladicí potenciál vody naplno a rostlinám se bude díky vodě zase lépe dařit. Rostliny fungují jako přírodní klimatizace. V přírodě se většina vody vsákne do půdy a následně pomocí rostlin je vypařena zpět do ovzduší, čímž okolí ochlazuje. Travnatá plocha má absolutně největší listovou plochu ze všech vegetačních prvků (Munier et al. 2018). Z dostupných informací se zdá, že travník má vyšší potenciál než jiné typy vegetace pro snížení odtoku vody, zvýšení infiltrace, čištění vody od sedimentů a znečišťujících látek, kontrolu eroze, zlepšení kvality půdy a snížení nebezpečí požárů (Monteiro 2017). Umí využít živiny které s deštěm spadnou (Han et al. 2013). Je čistým producentem kyslíku a koncovou plochou spadu pevných prašných částic (Przybysz et al. 2021). Travníky jsou nezbytným prvkem veřejné zeleně. Představují živou složku, a pokud chybí, jsou nekvalitní nebo zanedbávané, způsobí to velké problémy v městském prostředí (Winkler et al. 2021). Jen travník, který obsahuje co největší zastoupení kulturních trav, má nezastupitelné funkce. V momentě, kdy obsahuje více dvouděložných plevelných rostlin než kulturních trav, není schopen očekávané funkce plnit. Dvouděložné plevele se do městských travníků dostávají kvůli špatně prováděné péči, která je navíc uskutečňována i ve špatných termínech. Mnoho ploch vedených jako travnaté, jsou bohužel jen plochy zaplevelené. Lidé, kteří rozhodují o sekání či tuto činnost sami provádí, by měli vědět jak a kdy správně sekat a také veřejnost by měla být více informována, aby chápala, proč se zrovna taková péče v danou dobu provádí a k čemu je dobrá.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo napsat literární rešerši o působení sucha na druhově chudé i bohaté městské trávníky. S pomocí literárních zdrojů poukázat na důležitost městských trávníků, jmenovat některé vhodné rostlinné druhy snášející sucho, zhodnotit intenzitu využívání a vliv ošetřování městských trávníků s ohledem na měnící se klima a čím dál tím větší sucho. Dalším cílem bylo uvést různé postupy, jak zlepšit suchovzdornost trávníků v městském prostředí.

3 Literární rešerše

3.1 Význam trávníků ve městě

Ze společenského a kulturního hlediska jsou trávníky jedním z nejdůležitějších a nejčastěji využívaných typů městské zelené infrastruktury (Ignatieva 2017). Trávník ve vyšší či nižší míře poskytuje všechny ekosystémové služby ostatních typů vegetace (Monteiro 2017). Během posledních desetiletí se zelené trávníky postupně staly jedním z hlavních zdrojů ozelenění v mnoha městech ve vyspělých i rozvojových zemích (Elgizawy 2016). Intenzivní péče o městské trávníky je celosvětově rozšířená, a to především z estetických důvodů. Rostoucí množství znalostí však ukazuje negativní ekologické a environmentální dopady této praxe (Watson et al. 2019). Vzhledem k environmentálním a ekonomickým dopadům změny klimatu je čas zvážit nové „plochy trávníků“ v městském plánování jako přínosné a udržitelné alternativy. Trávníky v Evropě a Spojených státech amerických pokrývají 50–70 % městských zelených ploch (Ignatieva & Hedblom 2018). V německých městech, jako je Lipsko, pokrývají trávníky ve veřejných parcích alespoň 50 % (Haase & Nuissl 2007). Podobně ve Švédsku tvoří trávníky 50 % městských zelených ploch (Hedblom et al. 2017). Zajímavé je, že čínská města jsou v současnosti jedním z největších uživatelů trávníků (Yang et al. 2019) a v USA plochy trávníků dominují městské a příměstské krajině a pokrývají téměř 2 % zemské plochy země (Thompson & Kao-Kniffin 2017). V Číně v důsledku velmi nedávného zavedení trávníků do městských veřejných prostor a určitých specifických sociokulturních praktik (nadměrné využívání zelených ploch) nejsou trávníky přístupné pro všeobecnou rekreaci, ale hrají pouze dekorativní (estetickou) roli v městské krajině (Yang et al. 2019). Jedním z klíčových aspektů trávníků je stejnoměrný drn trávníku, což je horní vrstva půdy, která je pokryta těsně propletenými travami a bylinami, které jsou propleteny svými kořeny a/nebo stolony, které jsou v symbióze s půdou a faunou. Zejména trávník je zodpovědný za vytvoření jednotného a „trvalého“ povrchu běžně používaného lidmi pro rekreaci a sport (Ignatieva et al. 2020). Ve zmenšujících se evropských postindustriálních městech se také často městské trávníky zakládají na plochách po demolici obytných nebo průmyslových staveb. Jedná se o rychlou metodu pro oživení otevřeného prostoru a jeho zpřístupnění pro rekreaci (Tuvikene et al. 2019). V takových oblastech může být půdní profil často velmi mělký a některé druhy trav bojují o přežití (Ignatieva et al. 2020). Kvalitu trávníku ovlivňuje mnoho faktorů, jako jsou např. půdní a klimatické podmínky dané lokality, úroveň ošetřování trávníku či způsob jeho využívání (Hrabě 2009).

Z hlediska hierarchie trávníkářského třídění porostů spadají všechny extenzivně pěstované travní, travobylinné i vyloženě druhově pestré porosty do kategorie krajinných trávníků (Straková 2014). „Krajinný trávník“ dle ČSN 839031 zahrnuje převážně extenzivně využívané anebo pěstované porosty ve veřejné a soukromé zeleni, v krajině, u komunikací, na rekultivovaných plochách, druhově bohaté porosty lučního charakteru (ČSN 83 9031 2006). Jedná se o trávníky se širokým spektrem použití podle účelu a stanoviště, např. jako ochrana proti erozi, ozelenění na extrémních stanovištích, základ pro rozvoj stanovištně vhodných biotopů, na plochách zpravidla nezátížitelných nebo jen málo zatížitelných. Nároky na péči jsou u krajinných trávníků velmi malé až střední, ve zvláštních případech až velmi vysoké.

Kategorie krajinný trávník dle výše uvedené definice zahrnuje veškerá travní společenstva mimoprodukčního charakteru (Straková 2014).

Z urbánního sociologického hlediska existují další způsoby využití trávníků. Jednou z hlavních hodnot běžných trávníků je prostor, který poskytují pro společenské aktivity, jako je piknik, odpočinek, opalování, venčení psů, hry a sport (Ignatieva et al. 2017). Další důležitou funkcí je využití trávníků jako estetického zázemí pro architekturu a výtvarné prvky (Ignatieva 2017). Nedávné studie z Evropy a USA odhalily, že láska lidí k trávníkům souvisí s integrální rolí, kterou trávníky hrají v každodenní krajině (Ramer et al. 2019). Krátce střížené trávníky jsou spojeny s lepší kvalitou života a osobní bezpečností. Oproti hustým křovinám a lesům, které mohou skrývat nebezpečné lidi, trávníky toto svou otevřeností a dobrou viditelností vylučují. I ve vyprahlých rozvojových zemích, kde je nedostatek vody prvořadý, jsou trávníky využívány k ozelenění pracovišť a jsou považovány za primární prostředky pro zlepšení kvality lidského života (Elgizawy 2016). Dobře známý, je také chladivý efekt trávníků a vždy se používá jako argument pro důležitost travnatých ploch (součást zelené infrastruktury) oproti tvrdým městským povrchům (šedá infrastruktura nepokrytá vegetací) (Ignatieva et al. 2020). Ve městech s žádným nebo velmi omezeným přístupem k divoké vegetaci nebo jiné nedotčené přírodě, mají obyvatelé měst ještě silnější spojení s travnatou plochou jako s přírodou. Travní plochy spolu s dalšími „přírodními prvky“ sestávajícími z živých organismů, jako jsou stromy, květinové záhony, křoviny a vodní plochy, tvoří tuto vizi přírody (Elgizawy 2016).

Alternativy k trávníkům jsou obvykle inspirovány různými travnatými ekosystémy nebo biomy s nízko rostoucí vegetací, které snesou horko a sucho. Většina existujících alternativ však není ekvivalentní běžnému trávníku – odolnému drnu, který odolá rekreačnímu tlaku (sešlapávání). Účelem řešení používání alternativní vegetace, je snížit počet nevyužívaných travnatých ploch prostřednictvím urbanistického plánování a vyhnout se vizuální a ekologické homogenitě využitím různých vzorů krajinného designu (barva a textura), jakož i zajištění větší biodiverzity, a tím i šetrnosti k životnímu prostředí, vytvoření stanoviště pro divoká zvířata a zdravějšího životního prostředí (snížení četnosti sečení a méně emisí skleníkových plynů). V Evropě jsou všechny představy o alternativních trávnících spojeny s původními pastvinami nebo otevřenými okraji lesů mírného pásma, které podporují některé trávy a nízko vegetaci (Ignatieva et al. 2020).

3.1.1 Druhově chudý trávník

Botanické složení trávníku určuje jeho základní vlastnosti. Zastoupení jednotlivých travních druhů a odrůd v porostu předurčuje, jak bude trávník reagovat na vnější vlivy, jak ho poškodí sucho či zastínění, zda bude odolný vůči sešlapání a nízké seči, jak hustý drn vytvoří, kolik hmoty vyprodukuje a podobně. Problematice travních druhů a odrůd je proto nutné věnovat náležitou pozornost (Hrabě 2009). Okrasné a rekreační trávníky určené pro provozování různých sportů patří do skupiny intenzivních trávníků. Na tyto trávníky je v době vegetace vynakládána značná péče v podobě sekání, hnojení, zavlažování a dalších prací (Ondřej & Opatrná 1997). Takový trávník má ovšem jedinečnou roli v estetice a rozhodně poskytuje nenahraditelný povrch pro rekreační sporty a aktivity (Monteiro 2017). Záměrné hnojení a časté sečení vede k ochuzení druhového složení a k větší monotónnosti morfologické

stavby porostu, naopak pro plochy, kde je hojnost druhů na stanovišti žádoucí, je vhodný substrát chudý na živiny (Rychnovská et al. 1985). Dobrá znalost chování jednotlivých druhů umožňuje sestavování optimálních travníkových směsí pro dané konkrétní podmínky (Hrabě 2009). Vytvořit krásný, pevný a trvalý stále zelený koberec, který snáší sešlapání a tvrdé doskoky sportovců, to dovedou jenom trávy. Vhodná směs z druhů *Agrostis* (psineček), *Festuca* (kostřava), *Poa* (lipnice) a jiných druhů ve vyhovujících odrůdách vytvoří tak dokonalý trávník, že při správné údržbě není nahraditelný ani nejmodernějšími umělými hmotami (Šikula & Větvička 2016).

Jako druh je označovaná přirozená, stejnorodá skupina populací, která je vlivem řady faktorů morfologicky a biologicky odlišná od ostatních travních populací. Druh je produktem dlouhodobého přirozeného přírodního vývoje. Některé travní druhy, jako je např. *Festuca arundinacea* (kostřava rákosovitá) (Hrabě 2009) nebo *Deschampsia cespitosa* (metlice trsnatá), musí být ve směsi zastoupeny ve vyšším podílu (ne méně než 60 %), aby mohl být vytvořen kvalitní estetický vjem zahrnující stejnorodost trávníku (zelený a homogenní) (Straková 2013). Jednotlivé druhy jsou zastoupeny odrůdami. Za odrůdu je považovaná ustálená skupina populací v rámci příslušného druhu vytvořená záměrnou lidskou činností procesem výběru a šlechtění. Travní odrůdy jsou pro trávníkové účely speciálně šlechtěny (Hrabě 2009). Druhově chudé trávníky (viz Obrázek 1) přispívají méně k udržitelnosti než rozmanitá příroda, ale stále jsou dominantním prvkem zeleně a významným kulturním fenoménem ve městech.



Obrázek 1: Sportovní (druhově chudý) trávník po cca 3. týdnech od založení (Zahrady s nápady 2022).

Hnojení a správa těchto trávníků je však nákladná a může i zvyšovat množství pesticidů (Hedblom et al. 2017). Vysoce uznávanou rekreační výhodou trávníků je jejich dokonalý

povrch pro sporty, jako je fotbal, golf (viz Obrázek 2) a kriket (Ignatieva et al. 2020). Specifické travní druhy a odrůdy snášející nízkou seč, jsou většinou jemnolisté trávy - např. *Agrostis tenuis* (psineček tenký), úzkolisté odrůdy *Poa pratensis* (lipnice luční) a výběžkaté odrůdy *Festuca rubra* (kostřava červená). Pokryvnost takového porostu díky své hustotě je 90 % a více. Výskyt dvouděložných plevelných druhů v takovém trávníku je minimální (maximálně 2 %) (Hrabě 2009).



Obrázek 2: Golfový trávník v perfektním stavu (Český trávník 2021).

Cílem údržby domácích a veřejných trávníků je dosáhnout homogenního vzhledu připomínající zelený koberec (Trigger & Mulcock 2005). Během posledního desetiletí, je nejpozoruhodnějším a široce diskutovaným ekosystémovým nedostatkem trávníků estetická uniformita, vedoucí k ekologické homogenizaci městských oblastí, přičemž společenstva trávníkových rostlin se stávají podobnými ve složení a struktuře napříč četnými biogeografickými zónami (Ignatieva & Hedblom 2018). Poptávku po těchto monotónních zelených plochách, lze uspokojit pouze využíváním vhodných, druhově chudých směsí. V mírném podnebí se jedná o čtyři evropské druhy, *Poa pratensis*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne* (jílek vytrvalý) a *Agrostis* sp. jsou široce pěstovány v travnatých školkách. V zemích s teplým klimatem jsou nejčastější *Cynodon dactylon* (původem z Afriky), *Stenotaphrum secundatum* (původem ze Střední a Jižní Ameriky), *Paspalum vaginatum* (z Ameriky), *Pennisetum clandestinum* (východní Afrika) a *Zoysia japonica* (z jihovýchodní Asie a Indonésie). Hlavní metodou pro udržení homogenního složení je zakládání trávníků setím nebo vegetativní výsadbou a likvidace dalších druhů (plevelů) aplikací herbicidů a častým sekáním (Ignatieva et al. 2020).

Příklady komerčních směsí prodávaných v ČR:

- Komerční okrasná směs do od firmy Osiva Uni do suchých podmínek bez lipnice luční vytváří tmavý, mimořádně jemný a homogenní porost. Směs (VV-3/2) je vhodná i pro zakládání zelených střech. Složení směsi pouze z tenkolistých *Festuca rubra* umožňuje aplikovat na porost selektivní graminicidy proti trávovitým plevelům a získat tak dokonale čistý okrasný trávník.
- Komerční hřišťová směs pro renovace ligových trávníků (VV-8/2) od firmy Oseva Uni je vzhledem ke své kvalitě určena především pro průběžné dosévání kvalitních, nezaplevelených hřišťových trávníků. Lze ji uplatnit také při zakládání nových hřišť a tréninkových ploch. Složena je z 5 špičkových odrůd *Lolium perenne*, který vyniká vysokou odolností vůči zátěži, rychlou regenerací po poškození a hustotou vytvářeného travního drnu. Doplněna je úzkolistou a velmi hustou odrůdou *Poa pratensis*.
- Komerční golfová travní směs (VV-13/4) od firmy Oseva Uni je určena pro jamkoviště (greens). Celá směs tvoří odrůdy *Festuca rubra* a využívá se především v Dánsku, kde jsou uplatňovaná přísná ekologická pravidla, omezuje se spotřeba závlivkové vody a na minimum se snižuje používání pesticidních prostředků. Předpokladem úspěchu této směsi je použití špičkových odrůd tolerujících i mimořádně nízké sečení (Agrostis Trávníky s.r.o. 2023).

3.1.2 Druhově bohatý trávník

Druhové bohatství travních porostů je dáno především zastoupením dvouděložných rostlin, které se mění v průběhu let v závislosti na způsobu jejich využívání (Straková & Straka 2008). Druhově pestré porosty jsou významným prvkem jak v přírodě ve volné krajině, tak doplňkem životního prostředí měst a obcí (Skládanka 2008). Druhově pestrá směs obsahuje v různém podílu určitý počet travních druhů, jetelovin a ostatních dvouděložných bylin (viz Obrázek 3) (Straková 2014). Pokud je travní porost vhodně ošetřován, k vysetým druhům se přidávají další druhy typické pro danou lokalitu. Ale když je původní vysetý porost konkurenčně silný, tak je míra invaze silně omezena (Norton et al. 2019). Například ve Švédsku a Německu existuje několik podniků, které se specializují na produkci více druhových původních lučních porostů složených ze 70–80 % trav a 20–30 % lokálních divokých druhů květin (Ignatieva 2017). U druhově bohatých trávníků je omezené sekání a používání herbicidů (Ramer & Nelson 2020). Taková péče je šetrnější i k opylovačům (Larson et al. 2014). Počet rostlinných i živočišných druhů v takovém travním porostu je pak vysoký (Hrabě 2003). Biodiverzita roste s přítomností dalších dvouděložných rostlin (Salaš 2012). Požadavky na vysoký počet rostlinných i živočišných druhů na stanovišti, zachování protierozní funkčnosti, odolnost vůči suchu, popř. i estetický dojem porostu (Straková 2014), tzn. sladěnou, déletrvající a střídavou barevnost porostu, včetně využitelnosti jednotlivých částí bylin pro léčivé účely (Hrabě 2003), předurčují specifický přístup k tvorbě druhově bohatých směsí a jejich managementu (Straková 2014), k jejich tvorbě a využívání. Ze zdravotního hlediska je zde problematika pylových alergií (Hrabě 2003). Tvoří důležitý krajinný i fytosanitární prvek. Tento porost, tvořený mnoha druhy trav a bylin, netrpí půdní únavou.



Obrázek 3: Vzcházející porost směsi trav a vytrvalých dvouděložných bylin (Straková et al. 2015).

Naopak se jeho úrodnost trvale zvyšuje. Umí udržet v půdě úrodný humus (Šikula & Větvička 2016). Přeměna druhově chudých trávníků na druhově bohaté rostlinné společenstvo by mohla zlepšit ekosystémové služby spojené s bakteriální diverzitou půdy, jako je zvýšená sekvestrace uhlíku, rozpouštění fosfátů a snížení oxidu dusného v půdě (Baldi et al. 2023). V unikátních přírodních ekosystémech, s velmi vysokou druhovou diverzitou, nacházíme více než 100 druhů cévnatých rostlin a tomu odpovídají i o řád vyšší počty hmyzu a jiných organismů (Skládanka & Veselý 2007).

Výsledky, které uvádí Przybysz et al. (2021), naznačují, že porosty lučního typu by mohly být důležitým prvkem přírodních řešení, pro zmírnění znečištění ovzduší v urbanizovaných oblastech. Změny v manažerské praxi, jako je zavádění trvalých městských luk, mají významné politické, strategické, ekonomické a praktické důsledky a nelze je považovat pouze za technickou výzvu (Hoyle et al. 2017). Pozměňování městské zeleně zakládáním městských luk namísto některých pravidelně sečených travnatých porostů, pravděpodobně přinese podstatné přínosy pro biologickou rozmanitost, přičemž mozaika typu městských luk pravděpodobně tyto přínosy maximalizuje (Norton et al. 2019). Posílení biologické rozmanitosti v travnatých systémech by mohlo zvýšit ekosystémové služby v městské krajině a mělo by být považováno za součást postupů udržitelného hospodaření (Thompson & Kao-Kniffin 2017). Nahrazení běžných trávníků krajinnými travními porosty, které jsou odolné vůči suchu, minimalizuje spotřebu vody (Vahmani & Ban-Weiss 2016). Angličtí zahradní architekti jako James Hitchmough a Nigel Dunnett představili naturalistické

výsadby, které kombinují původní bylinné a travní druhy s atraktivními nepůvodními, kvetoucími préríjními rostlinami ze Severní Ameriky. Ty byly zaměřeny na zvýšení biologické rozmanitosti, snížení nutné péče a tím usnadnění pravidelné údržby (Hitchmough 2004).

Příklady komerčních směsí prodávaných v ČR:

- Druhově pestrá komerční směs do sucha (viz Obrázek 4) od firmy Agrostis Trávníky obsahuje 33 rostlinných druhů. Tato směs (Panonie), jejíž složení je výsledkem dlouholetého výzkumu vlastností rostlinných druhů s cílem podpořit druhovou diverzitu v extrémně suchých oblastech, je od roku 2015 chráněna patentem a je vhodná pro použití v sídlech i ve volné krajině. Směs Panonie je tvořena z 80 % trav, 15 % bylin a 5 % jetelovin (Agrostis Trávníky s.r.o. 2023).



Obrázek 4: Směs Panonie od firmy Agrostis Trávníky (Agrostis Trávníky s.r.o. 2023).

- Parková směs do sucha se zvýšeným podílem *Festuca brevipila* od firmy Oseva Uni je určena zejména do sušších podmínek, suchého polostínu, zatravňování dlažeb. Směs (VV-16/1) je tvořena z 55 % odrůd *Festuca*, 35 % odrůd *Lonium* a 15 % odrůd *Poa*.
- Rekultivační komerční směs do sucha od firmy Agrostis Trávníky obsahuje 21 rostlinných druhů. Tato směs (Sahara) je sestavena na základě výzkumu ozelenění sterilních a poškozených půd aridních oblastí a je určena do extrémně suchých podmínek. Vysoký podíl jetelovin zvyšuje kvalitu živinami chudých

půd. Po mnohaletém výzkumu byl v roce 2015 složení této směsi udělen patent a na Agrosalónu Země Živitelka obdržela směs v témže roce ocenění Zlatý klas. Směs Sahara je tvořena z 80 % trav, 5 % bylin a 15 % jetelovin.

3.2 Význam vody pro trávníky

Význam vody pro trávníky souvisí s jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Voda je rozpouštědlem a prostředím, ve kterém se uskutečňuje příjem, transport a metabolismus látek, má vysokou tepelnou stabilitu, čímž stabilizuje teplotu rostliny, má vysoké povrchové napětí, vysokou soudržnost molekul, je polární a ovlivňuje procesy hydratace, má schopnost výparu při různé teplotě, což chrání rostlinu proti přehřátí, je strukturální složkou protoplazmy apod. (Straková & Straka 2007). Trávy jsou na zásobení vody náročné (Svobodová 2004). Hlavním procesem, který určuje, kolik vody rostlina svými kořeny přijme za určitou časovou periodu (např. za 24 hodin) je transpirace, čímž rozumíme výdej vodních par z povrchu orgánů rostliny. Transpirace trávníků se během vegetačního období pohybuje na úrovni 4 500–6 800 m³.ha⁻¹, což představuje 450–680 mm srážek, nebo 450–680 l/m². Krátkodobý pokles vody v listech pod cca 60 % vede k nevratnému poškození pletiv a odumření rostlinného orgánu (Straková & Straka 2007). Rosa a kondenzační voda mají značný význam, a to zejména v období měsíce května a září (Hrabě 2003). Zásoba vody v rostlinách i v půdě stačí jen na poměrně krátkou dobu. Navíc doplňování zásob vody srážkami bývá obvykle nepravidelné, náhodné a nejsou tedy vyloučeny ani delší periody sucha. Vzhledem ke složitým vztahům mezi množstvím vody v rostlině a v okolním prostředí nelze dosti dobře zavést jednoduché kritérium, podle kterého bychom hodnotili, jak velkému stresu z nedostatku vody (zkráceně vodnímu stresu) je rostlina vystavena (Straková & Straka 2007). Jak se voda pohybuje z půdy do rostliny, prochází buněčnými stěnami, cytoplazmou, vzdušnými prostory a buněčnými membránami. Od půdy k listům trávy se vodní potenciál neustále snižuje a voda se pohybuje systémem půda-rostlina na podporu rostlinných procesů (Kopp & Jiang 2013). Použití termínu „potřeba vody“, zejména ze strany zemědělských inženýrů, znamená množství vody ze srážek a zavlažování nezbytné ke splnění specifických výrobních nebo výkonnostních potřeb. Spotřeba vody u trávníků je definována jako celkové množství vody potřebné pro růst rostlin, včetně vody ztracené transpirací a odpařováním z půdy a povrchů rostlin (evaporací) (Kneebone et al. 1992). Umělá závlaha je nezbytným opatřením pro zajištění odpovídajících užitných vlastností všech typů intenzivních trávníků. Někdy je na mnohých plochách nutné k jejímu zahájení přistoupit již koncem března. To se týká zejména trávníků s vyšším podílem písku ve vegetační vrstvě (Straková & Straka 2007). Obecně je snahou počátek pravidelného zavlažování co možná nejvíce oddálit, jinak platí zásada, jakmile začneme zavlažovat, měli bychom v závlaze víceméně pravidelně pokračovat až do pozdního podzimu. Každé zvýšení teploty o 5 °C nad průměrnou denní teplotu 15 °C znamená u trávníku o 1 až 2 l.m⁻² vyšší spotřebu vody (Straková 2018). Zásadním problémem, kterému čelí trávníkářský průmysl, jsou stále omezenější zásoby vody. Nalezení kultivarů, které používají méně vody při zachování přijatelné kvality, může zmírnit požadavky na zavlažování (Lewis et al. 2012). Analýzy naznačují, že zavlažování trávníku by mělo být naplánováno tak, aby se aplikovala voda na středních úrovních deficitního zavlažování, dostatečných pro udržení kvality trávníku, ale omezených tak, aby bylo

podporováno hluboké a rozsáhlé zakořeňování rostlin (Gómez-Armayones et al. 2018). Nedostatek a cena vody jsou podstatným důvodem pro omezení závlah a nahrazení intenzivních trávníků stabilnějšími suchomilnými travobylinnými společenstvy s nižším počtem sečí a větší odolností vůči absenci srážek, ale pobytové a rekreační aktivity se realizují přece jen lépe na sečených trávnících, než na lučních porostech (Straková 2018).

3.2.1 Reakce trávníku na stres suchem

Znalost míry odolnosti rostlin vůči suchu a jejich reakce na stres ze sucha, je důležitá pro vhodný výběr rostlin při zakládání trávníků (Carrow 1996a). Pro rostliny je limitujícím stresujícím faktorem nedostatek vody, důvodem je její rychlý koloběh a relativně malá zásoba v rostlinách (Martí-Roura et al. 2011). Suchým podmínkám prostředí se mohou travní druhy bránit různými způsoby. Jednou z možností je snížení výparu (zúžením listů, tvarem listové čepele, barvou listů a jejich povrchem, postavením listů a způsobem odnožování) a tím menší spotřeba vody a hospodárnost se zásobami vody (Salaš 2012). Nalezení molekulárních markerů spojených s fyziologickými rysy pro toleranci stresu je důležitá pro pochopení základní genetiky a šlechtění pro zlepšení tolerance rostlin vůči stresu (Jespersen et al. 2018). Mechanismy využívané trávníky k přežití nedostatku vody lze popsat jako reakce celé rostliny a fyziologické a biochemické reakce. Pochopit reakce trávníku na vodní stres je nezbytné pro pomoc správcům trávníků při vytváření programů managementu ošetřování, které optimalizují kvalitu trávníku, toleranci vodního stresu a zotavení (Kopp & Jiang 2013).

Trávy potřebují určitou dobu pro přechod fyziologických procesů ze zimních podmínek na podmínky letní se suchými periodami. Pokud je zmíněné období neúměrně krátké či zcela chybí, znamená to zvýšený stres, který se zákonitě odráží i na kvalitě trávníku (Straková & Straka 2007). Ve skandinávských zemích mohou být trávníky kvůli chladnému klimatu a následnému životnímu cyklu využívány pouze od konce května do října (Ignatieva 2017). V částech střední a západní Evropy s mírnějším podnebím lze trávníky využívat po delší dobu. V Evropě se v důsledku měnícího se klimatu a teplejších zim a prodloužených letních teplot využívají trávníky po celý rok. Existují důkazy, že některé německé městské trávníky v městských parcích se využívají od února do listopadu, což je mnohem déle než v předchozích desetiletích. Toto prodloužení vegetačního období vede k tomu, že trávníky jsou nadměrně využívány a nedostává se jim nezbytných období na zotavení (Ignatieva et al. 2020).

Důležitou roli při regulaci reakcí rostlin na snížení dostupnosti půdní vody hrají dvě skupiny rostlinných hormonů. Jsou to kyselina abscisová (ABA) a cytokininy. Vodní deficit vede k významnému poklesu kvality trávníku, omezení rychlosti prodloužení výhonků, rychlosti zápoje fotosyntézy, denní rychlosti evapotranspirace, obsahu cytokininů a významnému zvýšení obsahu ABA (DaCosta & Huang 2007). Stres způsobený suchem je staticky významný limitující faktor růstu i ostatních fyziologických procesů, na které rostliny reagují různými růstovými a metabolickými změnami (Niinemets 2010). Jako jsou poruchy syntetických procesů, struktur proteinů a aktivity enzymů (Gill & Tuteja 2010), ovlivnění růstu listů i kořenů, změnu hladiny fytohormonů, především ABA (Demidchik & Maathuis 2007), změnu osmotického potenciálu vody v rostlině (Laus et al. 2010), změnu v otevírání průduchů, výměny plynů nebo vodní páry (Gunasekera & Berkowitz 1993). Klesá také příjem CO₂

(Julkunen-Tiitto et al. 1993). Rostliny si vyvinuly mechanismy adaptace na výkyvy podmínek prostředí, které nedávno dostaly termín „stresová paměť“. Při studii zabývající se změnami reakcí na sucho u dvou druhů trav (*Festuca arundinacea* a *Lolium perenne*) s různou odolností vůči vodnímu deficitu, bylo zaznamenáno zvýšené prokořenění v hlubší půdě u trav, které byly vystaveny nedostatku vody i v dřívějším období růstu. U obou trav byla zjištěna vyšší vodivost listů a intenzivnější fotosyntéza během druhého období sucha. Snížená spotřeba vody u *Lolium perenne* kvůli předcházejícímu vystavení suchu, umožnila rostlinám udržet vyšší relativní obsah vody v listech, čímž se minimalizovaly negativní účinky na rychlost fotosyntézy ve srovnání s rostlinami, které suchu byli vystaveny jen jednou (Nosalewicz et al. 2018).

Travníky jsou v letních měsících často vystaveny stresu z horka a sucha. Studie vytvořená za účelem stanovení fyziologických reakcí *Poa pratensis* na sucho a teplo ukázala, že simultánní stres suchem a horkem byl škodlivější než oba stesy samotné (Jiang & Huang 2000). Nedávné pokroky v systémech malých bezpilotních letadel (sUAS) a senzorech mohou zlepšit přesnost a efektivitu výzkumu a managementu travníku ve srovnání s běžnými metodami. Výsledky studie, která hodnotila schopnost sUAS v kombinaci s dálkovým průzkumem Země s ultravysokým prostorovým rozlišením detekovat včasný stres ze sucha naznačují, že dálkové snímání s ultravysokým prostorovým rozlišením pomocí sUAS detekovalo stres ze sucha dříve, než byl viditelný pro lidského pozorovatele, a mohl by být cenný pro zlepšení řízení zavlažování v travníku (Hong et al. 2019).

3.2.2 Letní dormance

Dormance u vyšších rostlin je adaptivní odezvou, která se vyvinula v původním prostředí druhu a umožňuje přežití v obdobích, kdy jsou podmínky prostředí nejvíce ohrožující (Vegis 1964). Mezi těmito adaptacemi byla rozsáhle přezkoumána dormance semen, která rostlinám poskytuje mechanismus pro oddálení klíčení, dokud nebudou podmínky optimální pro přežití další generace (Finkelstein et al. 2008). Pokud jde o dormanci ve vegetativních tkáních, tato schopnost zastavit aktivitu meristému a učinit jej necitlivým vůči signálům podporujícím růst, je rysem trvalého životního stylu rostlin (Rohde & Bhalerao 2007). Letní dormance i zimní dormance (také označovaná jako podzimní dormance) jsou adaptivní strategie, které umožňují přetrvávat v sezónním silném stresu, prostřednictvím tolerance klíčových orgánů vůči dehydrataci způsobené vodním deficitem, horkem nebo mrazem (Lubzens et al. 2010). Dormance je obecně definována jako „dočasné pozastavení viditelného růstu jakékoli rostlinné struktury obsahující meristém“ (Lang et al. 1987). Dormance je neschopnost obnovit růst, nejen nepřítomnost růstu, což vedlo k přesnější definici endodormance jako „neschopnost zahájit růst z meristémů za nepříznivých podmínek“ (Rohde & Bhalerao 2007). Bylo také zdůrazněno, že jakýkoli meristém čekající na správné podmínky klíčení (např. déšť nebo teplotu) by byl kategorizován jako eko-spící, i když je připraven a může růst (Volaire & Norton 2006).

V Evropě a některých zemích, kde je během suchého léta zavlažování omezeno nebo zakázáno, travníky hnědnou a stávají se významným zdrojem prachu (Ignatieva et al. 2020). Bez zavlažování v suchých podmínkách se travníky stávají suchými a pro lidi nepřítažlivými. Například v Německu není během horkého léta povoleno zavlažování veřejných zelených

plach, takže trávníky a pouliční stromy rychle degradují (Hogue & Pincetl 2015). Tráva může upadnout do letní dormance, zvláště když je posekaná příliš nakrátko (viz Obrázek 5), nebo když je seč prováděna při velkém teple 26 °C a výš. Trávník zastaví veškerý růst a vývoj a přechází do dormantního stavu, který chrání důležité části rostliny, jako odnožovací uzliny, rhizomy a kořeny a umožňuje jim přežít tím, že do nich koncentruje veškerou dostupnou vodu na úkor ostatních částí rostlin. Při dlouhodobém nedostatku vláhy dochází u rostlin k vadnutí a barva rostlin se mění ze zelené na modrozelenou nebo šedo zelenou, až listy postupně uschnou a zhnědnou. Tráva sice není mrtvá, ale ztratí svou zelenou barvu. A stejně tomu je u neposečené trávy, kde dozraje květenství, podobně jako u obilí, a to vede také ke ztrátě zelené barvy.



Obrázek 5: Posečený trávník za vysokých teplot ve stavu letní dormance (Straková 2018).

Je třeba si uvědomit, že jen zelená tráva je živá a je schopná fotosyntézy a zadržuje vodu (Straková 2018). Spící rostliny vyžadují nepřetržitý přístup k vodě, i když pouze v malém množství, které je typicky přístupné přes hluboký kořenový systém, jinak vždy dochází k vysychání a smrti (Nie & Norton 2009). Některé trávy se po deštích pozdního léta vzpamatují, ale poškození je viditelné a povrchy trávníků je často nutné opravit (Hogue & Pincetl 2015). Stejně jako u zimního klidu, tato adaptace chrání před předčasným rašením při nepříznivých sezónních podmínkách. Snížená metabolická aktivita během dormance snižuje spotřebu vody, a tím zajišťuje zamezení dehydratace (Volaire et al. 2005). Biochemické sloučeniny podílející se na indukci nebo uvolňování v zimním klidu (ABA, etylen, cukry, cytokininy a gibereliny) jsou prioritním výzkumným zaměřením pro letní dormanci (Gillespie & Volaire 2017). Letní

dormance je strategií, která umožňuje lepší přežití travinám přizpůsobeným horkým a suchým létům (Shihan et al. 2022). Travní druhy vyskytující se v trávnicích našeho mírného pásma mají Calvinův (C3) cyklus fotosyntézy. Tento C3-cyklus využívají především rostliny mírných a chladných pásů, protože teplota v těchto oblastech není vysoká a fotorespirace nepřevládá nad fotosyntézou. Jakmile průměrné denní teploty přesahují možnosti rostlin s C3-cyklem fotosyntézy, dochází u travních druhů k přechodu do tzv. letní dormance. Doba, po kterou je tráva schopna přežít v dormantním stavu závisí na řadě faktorů, jako jsou úroveň vlhkosti půdy, denní teploty, stav trávníku na počátku nástupu sucha atd. Při dlouhodobých teplotách nad 30 °C, mohou travní druhy mírného pásma přežít v dormantním stavu 3-4 týdny (Straková 2018).

Výběr vhodných populací trav, které využívají stavu dormance pro zvýšení přežití při teplejších a sušších létech, by mohl zlepšit budoucí adaptaci hlavních vytrvalých trav na změnu klimatu (Shihan et al. 2022). Dormance meristémů jsou adaptivní strategie, které jsou stěžejní při zvyšování tolerance sezónního stresu a odolnosti rozšířených společenstev bylinných rostlin (Gillespie & Volaire 2017). Pochopení dormance na ekologické a ekofyziologické úrovni může pomoci předpovídat vývoj fenologických vzorců druhů a společenstev při změně klimatu (Volaire et al. 2014). Velká vnitrodruhová variabilita fenologických adaptací v rámci *Lolium perenne* odhaluje, že sezónní modulace růstového potenciálu je klíčová, pro adaptaci rostlin za těžkých chronických abiotických stresů (Keep et al. 2021). Lorenzetti et al. (1983) zjistili, že například u italských populací *Dactylis glomerata* je variabilita pro dormanci, jak v létě, tak v zimě tak vysoká, že šlechtění adaptovaných odrůd s požadovaným růstovým rytmem by nemělo být obtížné. Napodobování přírody může nabídnout některá řešení pro úsporu vody: letní hnědé trávníky, které se na podzim zazelenají, i když ztratí některé výhody trávníku, mohou být vhodnou volbou tam, kde zavlažování není proveditelné a stojí za průzkum (Monteiro 2017). Prozkoumání interspecifické a intraspecifické genotypové variability vegetačního klidu rostlin a její plasticity napříč gradienty prostředí, by pomohlo rozvoji fenotypů se zvýšenou dormancí nebo oportunními adaptacemi dormance, což by mohly zlepšit adaptaci na méně předvídatelné environmentální stresy spojené s budoucím klimatem (Newell et al. 2015).

3.3 Suchovzdornost trávníku

V době rostoucí urbanizace, zvýšeného využívání městské půdy, konkurence různých požadavků od uživatelů a souvisejících společenských výzev městského prostředí může být celosvětové sdílení vzorových řešení pro založení městských trávníků, důležitým krokem k nalezení odolných a udržitelných alternativ pro městské zelené plochy. Tyto plochy by byly zakládány z různých lokálních, druhově bohatých rostlinných společenstev, která by byla schopna odolávat drsným podmínkám, jako je silné sešlapání a sucho (Chang et al. 2020). Vzhledem k tomu, že trávníky tvoří velkou část městské zeleně a jejich správa je nákladná, je velmi důležité zvážit jejich sociální, ekologickou a kulturní hodnotu ve srovnání s alternativami, např. loukami s méně intenzivním obhospodařováním (Hedblom et al. 2017). V poslední době se ve městech rozšiřuje, namísto směsí složených pouze z travních druhů, vysévání travobylinných směsí. Vznikají tak tzv. „bylinné trávníky“. Tyto směsi jsou velice žádoucí

kvůli úspoře na zavlažování, hnojení a ošetřování přípravky na ochranu rostlin při současné vyšší stabilitě porostu a vyšší odolnosti vůči suchu a vysokým teplotám (Straková 2018). Každá nová přestavba městského trávníku představuje příležitost otestovat ekologickou teorii na místní úrovni, provést tolik potřebný výzkum dopadů principů designu na potenciál stanovišť a podpořit estetiku městského ekologického designu (Kiers et al. 2022). Při studii v Los Angeles byla přeměna plocha trávníků na vegetaci tolerantní vůči suchu. To vedlo k dennímu oteplení až o 1,9 °C, z velké části v důsledku snížení zavlažování, které posunulo rozdělování povrchové energie směrem k vyššímu citelnému a nižšímu toku latentního tepla. Během noci však přijetí suchomilné vegetace způsobilo průměrné ochlazení o 3,2 °C v důsledku změn termodynamických vlastností půdy a dynamiky výměny tepla mezi povrchem a pod povrchem (Vahmani & Ban-Weiss 2016).

Omezit nebezpečí vodního stresu rostlin lze různými agrotechnickými i technickými opatřeními na základě znalostí fyziologické reakce rostlin a také správnou volbou sortimentu, závlahami. Nebo využitím speciálních přípravků na přírodní či syntetické bázi, které mohou při vhodném dávkování kladně ovlivňovat půdní vlastnosti a optimalizovat vodní režim rostlin (Salaš 2012). U porostů zemědělsky či zahradnický obdělávaných můžeme nebezpečí vodního stresu snižovat pomocí látek, které zadržují vodu v půdě (Andry et al. 2009). Také symbióza s mykorrhizickými houbami, které zvětšují aktivní povrch kořenového systému, podporuje suchovzdornost trav (Salaš 2012). Mykorrhizní houby prospívají zlepšenou minerální výživou a celkovou ochranou proti stresu. To umožní rostlinám snáze se přizpůsobit změnám klimatu (Tedersoo & Bahram 2019).

3.3.1 Vhodný výběr druhů snášející suchu

Při zakládání a výsevu nových trávníků je obvykle jasné, bude-li na stanovišti instalována závlaha, případně jakým způsobem bude o trávník pečováno. Vhodné složení trávníku se zaměřením na zastoupení suchovzdornějších druhů trav ve směsi, může výrazně zvýšit odolnost trávníku vůči suchu (viz Obrázek 6), případně zvýšit schopnost trávníku přežít období letní dormance a na podzim se zase zazelenat (Straková 2018). Významným faktorem určujícím odolnost k suchu je i ranost jednotlivých druhů trav. Ranější komponenty jsou schopny využít pro svůj rozvoj jarní vláhu a po nástupu období sucha již dosahují plného vývoje a lépe odolávají stresu vyvolanému suchem (Salaš 2012). Pochopení procesu adaptace na změnu klimatu je nezbytné pro navržení rostlinných společenstev pro použití ve veřejné zeleni. Změna klimatu poskytuje nové příležitosti a v některých případech i nutnost využívat nepůvodní druhy rostlin ve spojení s původními druhy rostlin, a to nejen ke snížení vedlejších účinků změny klimatu, ale také ke zvýšení druhové rozmanitosti a estetické hodnoty (Alizadeh & Hitchmough 2019). Některé druhy trávníků jsou schopny zůstat zelené a udržet si přijatelnou kvalitu trávníku během sucha nebo období nízkých srážek díky své kořenové struktuře, hustotě a relativně nízké spotřebě vody (Kanapeckas et al. 2008). Dlouhodobému suchu odolávají lépe trávy s podzemními výběžky (rhizomy), např. *Poa pratensis*, které jsou schopny z podzemních oddenků regenerovat i po delších období sucha (Salaš 2012). Vhodné jsou i bylinné trávníky, jejichž estetická funkce je zajištěna zapojeným nízkým porostem s různobarevností květů, především sedmikrásek. Trávníky mohou mít širokou druhovou diverzitu.



Obrázek 6: Pravidelně sekaný parterový trávník s podílem dvouděložných bylin v barokní zahradě (Straková et al. 2015).

V porostu jsou přítomny nejenom trávy, ale také byliny: např.- *Achillea millefolium*, *Galium verum* (svízel syřišťový), *Taraxacum officinale*, *Leucanthemum vulgare* (kopretina bílá), *Plantago media*, *Prunella vulgaris* (černohlávek obecný), *Ranunculus bulbosus* (pryskyřník hlíznatý), *Thymus* sp. (mateřídouška), *Dianthus* (hvozdík). A jeteloviny: např.- *Lotus corniculatus* (štírovník růžkatý), *Medicago lupulina* (tolice dětelová), *Trifolium repens* (jetel plazivý), zvláště drobnolisté odrůdy, se jeví jako vhodný doplněk do těchto nízko sečených bylinných trávníků v méně příznivých podmínkách, v nichž zvyšují odolnost k suchu a dodává potřebný dusík (Straková 2018). K dispozici je málo údajů o odolnosti vůči suchu u netravnatých krajinných druhů. Výsledky studie hodnotící výkonnost *Poa pratensis* 'Apollo' a osmi bylinných druhů (*Achillea millifolium*, *Ajuga reptans* 'Bronze Beauty', *Liriope muscari*, *Pachysandra terminalis*, *Sedum album*, *Thymus serpyllum*, *Vinca major* a *Vinca minor*) během dlouhodobého vysychání a následného zotavení naznačují, že *Sedum album*, *Liriope muscari* a *Pachysandra terminalis* jsou nejodolnější vůči silnému a dlouhodobému suchu. *Vinca minor* a *Vinca major* jsou dobrým výběrem při krátkodobých suchách, stejně jako *Poa pratensis*, pokud jsou přijatelná období klidu (Domenghini et al. 2013). *Lolium perenne*, *Festuca rubra*, subsp. *rubra* a *Festuca ovina* (kostřava ovčí) jsou rostliny, které částečně zůstávají zelené během sucha a jsou schopné středně rychlé obnovy po dodávce vody. Z hlediska obnovy kvality trávníku po dešti, nejrychleji reagují na srážky *Festuca rubra* subsp. *rubra*, *Koeleria glauca* a *Poa pratensis* (Kanapeckas et al. 2008).

3.3.2 Vliv živin na suchovzdornost trávníku

Rostliny získávají ze vzduchu a půdního prostředí všechny složky svých pletiv. Úrodnost půdy řídí zejména růst rostlin a tím i množství minerálních živin přijímaných kořeny. Od 19. století je dobře známo, že růst rostlin je vždy omezen prvním faktorem, jehož dostupnost v prostředí začíná chybět (Le Bot et al. 1998). Především dostatek draslíku posílí odolnost rostlin vůči letnímu stresu ze sucha. Aplikace hnojiv ovšem musí probíhat v době, kdy ještě dormance neprobíhá, kořenový systém trav je schopen živiny přijímat a cévní svazky rostlin jsou schopny živiny v rostlině rozvádět (Straková 2018). Podíl travního hnojiva na znečištění povrchových a podzemních vod není dobře zdokumentován. Výsledky provedené studie naznačují, že ve srovnání s agronomickými řádkovými plodinami jsou ztráty živin a sedimentu odtokem a vyplavováním z trávníku velmi nízké (Gross et al. 1990). Trávníkové porosty mají potenciál ke ztrátě aplikovaného dusíku prostřednictvím odtoku i vyluhování. Alternativní vegetace s nižší údržbou používaná ve smíšené krajině, může snížit vyplavování a odtok dusíku, což je důležité pro snížení znečištění povrchových a podzemních vod dusíkem. Tuto skutečnost však zkoumalo jen málo studií (Erickson et al. 2001). Ve městech, kde jsou trávníky vytvářeny na písčitéch půdách, vyžadují tyto půdy od počátku mnoho vstupů pro pěstování trávníků kvůli jejich omezené kapacitě vody a živin. Nedávný výzkum ukázal, že nadměrné vyplavování dusíku a fosforu pod městskými trávníky na písčitéch půdách v metropolitním Perthu může představovat vážnou hrozbu nejen pro kvalitu podzemních vod, ale také pro mnoho útvarů povrchových vod (Sharma et al. 1996). Cheláty jsou sloučeniny, které se používají ke zlepšení výživy, zejména stavu mikroživin rostlinných tkání. Nedávno objevené aminocheláty, které jsou syntetizovány pomocí různých aminokyselin a jednoho nebo několika živých iontů, jsou zaměřeny na zlepšení účinnosti používání hnojiv a lepší přizpůsobení ochraně životního prostředí. Kromě primárního použití jako zdroj mikroživin představují aminocheláty účinné dusíkaté hnojivo ve výživě rostlin, které může zabránit negativním účinkům jednoduchých dusíkatých hnojiv, jako je močovina (Souri & Hatamian 2018). Vracení posekané trávy mulčováním je prospěšné. Aplikace dusíku snížila podíl jetelovin, podpořila travní složku, statisticky zvýšila kvalitu, zlepšila barvu a zvýšila výšku trávníku. V každém případě je nutné aplikovat alespoň základní množství minerálního hnojiva, aby byla kvalita městských trávníků dlouhodobě zachována (Knot et al. 2017). Přítomnost jetelovin může nahradit hnojení dusíkem a případné odstranění posekané trávy lze použít jako biopalivo, přičemž se udržuje akumulace uhlíku v půdě, což zabraňuje vyplavování dusíku a snižování uhlíkové stopy (Monteiro 2017). Podle výsledků studie, která se zabývala a hodnotila účinky základní kultivace a přihnojování kompostem na obsah vody v půdě, teplotu porostu trávníku a změny kvality během období sucha u *Poa pratensis* naznačují, že hnojení kompostem po základní kultivaci je manažerská praxe, která by mohla snížit požadavky na zavlažování trávníku (Johnson et al. 2009). Také pH půdy má vliv na koloběh živin, výživu rostlin a sanaci půdy (bioremediaci a fyzikálně-chemické sanace). V přírodním prostředí má pH půdy obrovský vliv na půdní biogeochemické procesy. Proto je pH půdy popisováno jako „hlavní proměnná půdy“, která ovlivňuje myriády půdních biologických, chemických a fyzikálních vlastností a procesů, které ovlivňují růst rostlin a výnos biomasy (Neina 2019). Výsledky studie podle Bandaranayake a et al. (2003) také naznačují, že ve srovnání s přírodními travními porosty má oteplování větší vliv na půdní organický uhlík v trávníkových systémech.

3.3.3 Šlechtění

Šlechtění odrůd je proces, jehož cílem je vytvořit odrůdy, které budou lepší v porovnání s předcházejícími. Šlechtí se kupříkladu na odolnost proti suchu, chorobám, na jemnost listu, rychlost růstu, hustotu, vytrvalost, odolnost zátěži, barvu a spoustu dalších vlastností. Důležitá je také schopnost odrůdy produkovat dostatečné množství osiva (Hrabě 2009). V letech 1996 až 1998 byla provedena terénní studie ve městě Griffin, aby vyhodnotila účinnost jedinečného šlechtitelského/výběrového protokolu navrženého ke zvýšení tolerance sucha/vysoké teploty u *Festuca arundinacea* a určila nejodolnější vytrvalé kultivary nebo ekotypy vůči suchu, mezi 12 *Festuca arundinacea*. Tento výzkum poskytl silnou dokumentaci, že významného zvýšení odolnosti proti suchu a perzistence *Festuca arundinacea* lze dosáhnout použitím protokolu šlechtění/výběru (Carrow & Duncan 2003). V posledních letech byly vyvinuty vylepšené kultivary *Festuca* sp., které rozšiřují geografické rozšíření a použití druhů, ale stále je zapotřebí další úsilí o zvýšení výnosu semen a zlepšení tolerance vůči abiotickému a biotickému stresu (Braun et al. 2020). Experimenty, které by prozkoumaly genotypové variace v morfologických, anatomických a fyziologických reakcích kořenů na stres ze sucha, by usnadnily šlechtitelské programy a postupy řízení pro zlepšení odolnosti travníků vůči suchu (Huang & Fry 1998). *Lolium perenne* je široce používaným travním druhem. Stres ze sucha může výrazně ovlivnit růst a vývoj travních rostlin. Výběr genů podílejících se na toleranci sucha usnadňuje genetické vylepšení *Lolium perenne*. Výsledky naznačují, že odlišně exprimované geny mezi suchotolerantními a citlivými přírůdky mohou hrát důležitou roli v odolnosti *Lolium perenne* k suchu. Mohou být použity jako kandidátní geny při zkoumání nukleotidových polymorfismů a provádění asociační analýzy genů s tolerancí vůči suchu (Liu & Jiang 2010). Někdy se mohou nové odrůdy vytvářet záměrným křížením jedinců (hybridizací) z různých druhů či rodů. Potom vznikají druhové či rodové hybridy, které kombinují vlastnosti obou svých rodičů a mohou být považovány za nový travní druh (Hrabě 2009). Výsledky studie genetické variace v toleranci a zotavení ze sucha mezi hybridy *Poa arachnifera* × *Poa pratensis* a *Poa pratensis*, ukazují potenciál pro rozvoj hybridů se zlepšenou tolerancí vůči stresu ze sucha a výkonností během zotavení (Merewitz et al. 2010). Rozšíření genetického fondu druhů plodin širokou hybridizací je zavedenou praxí ve šlechtění rostlin. Opakovaným výběrem na odolnost vůči suchu a horku byla vyvinuta populace *Festulolium* (FL, hybrid *Festuca* × *Lolium*) travníkového typu se zvýšenou odolností vůči stresu. Zdá se, že s dodatečným šlechtěním a selekcí mají hybridy FL potenciál odolávat vodnímu deficitu a poskytovat lepší kvalitu travníku (Barnes et al. 2014). V některých státech jsou ještě povinné pokusy (VCU-Value for Cultivation and Use), které zkouší vlastnosti odrůd. Výsledky těchto testů jsou zveřejňovány a jsou jediným zdrojem objektivních informací o odrůdě. Nevýhodou je, že výsledky odpovídají klimatickým podmínkám a konkrétní metodice zkoušení v různých oblastech a nedají se jednoduše převzít pro odlišné klimatické oblasti a jiné podmínky ošetřování travníků. V České republice se tyto pokusy neprovádí a za kvalitu travní odrůdy ručí firma, která ji uvádí na trh (Hrabě 2009).

3.3.4 Morfologie a fyziologie suchovzdorných trav

Rozdílnou reakci jednotlivých odrůd a šlechtitelských linií na sucho lze vysvětlit rozmanitostí morfologických vlastností např. různá šířka listů a kořenový systém (Kanapeckas et al. 2008). Genetická tolerance k edafickým stresům může výrazně ovlivnit zakořeňování trávníku a hodnocení odolnosti vůči suchu (Carrow 1996b). Míra odolnosti rostlin proti vodnímu stresu z nedostatku přijatelné vody není v období vegetace stejná. Nejvíce se snižuje v tzv. kritických obdobích vegetace. Vodním stresem trpí zejména v jarním a letním suchém období. Kořenové systémy rostlin, které prošly stresem z nedostatku vody v půdě, mají snížený příjem vody i několik dnů po zavlažení (Rocha et al. 2010). Studie provedená s cílem prozkoumat metabolické reakce uhlíku na vysychání povrchové půdy u trav, ukazuje na snížení rychlosti dýchání listů a snížení rychlosti dýchání kořene v horních 20 cm půdy, která vysychá na povrchu. Alokace uhlíku spodní vlhké půdy ke kořenům by mohla pomoci travám vyrovnat se se stresem způsobeným suchem na povrchu půdy (Huang 2000). Vícenásobná regresní analýza prokázala, že délka a hustota kořene (hloubka 20–60 cm) byla spojena s menším vysycháním listů a vadnutím. Udržení evapotranspirace ve 4 až 8 dnech po zavlažování souviselo s menším vysycháním listů a délka a hustota kořene (hloubka 3–10 cm) související s větší vysycháním listů a vadnutím. To naznačuje, že velká délka a hustota kořene v hlubší kořenové zóně se schopností udržet evapotranspiraci při vysychání půdy jsou důležité pro odolnost *Festuca arundinacea* proti suchu (Carrow 1996a). Osmotické přizpůsobení, elasticita buněčné stěny a stabilita buněčné membrány by mohly hrát důležitou roli v toleranci vysychání listů a přežití sucha u vytrvalých druhů trav. Navíc obnovení úrovně hydratace listů a fyziologické aktivity po suchu může být spojeno s akumulací sacharidů v listech a oddencích během stresu suchem a produkcí nových kořenů po opětovném zavlažování (Chai et al. 2010). Výběr zárodečné plazmy na základě vysokého poměru kořenů a výhonků ve skleníku je životaschopnou metodou pro zlepšení odolnosti travního typu *Festuca arundinacea* vůči suchu (Karcher et al. 2008). Také podle studie, která hodnotila některé fyziologické reakce a morfologické faktory u trávníků s *Poa pratensis* a *Festuca arundinacea*, přispívající ke schopnosti odolávat suchu, anebo jsou vystaveny zvyšujícím se úrovním sucha se potvrdilo, že záchranou může být vytvoření hlubokého kořenového systému (Ervin & Koski 1998).

3.4 Pomocné půdní látky

Dle zákona č. 299/2021 Sb. (novelizace zákona č. 156/1998 Sb. ze dne 13. srpna 2021) o hnojivech, pomocných půdních látkách (PPL), rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech) a ve znění zákona č. 308/2000 Sb., se PPL rozumí „Látka bez účinného množství živin, která půdu biologicky, chemicky nebo fyzikálně ovlivňuje, zlepšuje nebo zvyšuje účinnost hnojiv“. Hranice obsahu živin oddělující hnojiva jako jejich hlavní zdroje určené pro výživu rostlin a PPL tedy není jednoznačně vymezena. Proto i mezi PPL lze nalézt přípravky obsahující množství živin, které mohou k výživě rostlin významně přispět. Většinou se však jedná o materiály, pro jejichž zařazení mezi PPL byly rozhodující jiné vlastnosti, např. schopnost ovlivňovat vodní režim půdy (Zákon pro lidi. 2021).

Podle původu můžeme PPL rozdělit na: minerální materiály bez organických látek (písky, štěrkopísky, škvára, drcená láva, bentonit, zeolit aj.) a minerální látky s organickými látkami (cukrovarské kaly, čistírenské kaly, skrývka ze stavenišť aj.). Materiály s vysokým obsahem organických látek (rašeliny, rašelinové zeminy, kompost aj.) a na syntetické půdní zlepšovače (perlit, keramzit, pěnové polystyreny, silikáty, hydroabsorbenty, polymerní disperze na bázi polyvinilacetátu aj. mykorhizní přípravky, smáčedla, bioalgináty) (Hrabě 2009). Pomocné půdní látky (někdy se označují starším názvem „půdní kondicionéry“) představují širokou skupinu materiálů, které se dostávají do popředí zájmu. Prezентují jednu z možností snižování stresových podmínek pro rostliny a zlepšování chemických, fyzikálních a biologických vlastností půd (Úroda 2011). Svým působením v půdě podporují růst kořenového systému a zlepšují zdravotní stav a vitalitu-kondici rostlin (Hrabě 2009). Obecně lze tedy PPL použít v případech, kdy je cílem některé vlastnosti půdy zlepšit, případně změnit nebo tehdy, je-li požadována eliminace škodlivého působení negativních vlivů v půdě (Evropský institut pro zadržování vody v krajině z.ú. 2017) (např. úprava pH půdy, nevhodná půdní reakce, vysoká koncentrace solí, nadměrný obsah těžkých kovů), zlepšení vlastností půdy (např. smyková pevnost, elasticita, mikrobiální aktivita půdy, technologické vlastnosti půdy jako jsou zpracovatelnost a zpevnění povrchu půdy) nebo změna vlastností půdy (např. ovlivnění pórovitosti a podílu makropórů, podílu humusu, vzdušné a vodní kapacity půdy, půdní teploty, výměnné sorpční schopnosti, obsahu živin, měrnou hmotnost půdy). Půdními kondicionéry a dalšími pomocnými látkami bývá zpravidla dosahováno více účinků současně. Podle výsledků analýz vlastností půdy a podle výběru půdních kondicionérů na trhu lze rozhodnout v jakém množství a kterou látku je pro daný účel nejvhodnější zvolit. Použitelné jsou pouze látky nezatěžující životní prostředí, hygienicky nezávadné, prosté plevelů a cizorodých látek, které je možné aplikovat běžnou technikou. Využití různých typů půdních kondicionérů je naprosto nezbytné na extrémních stanovištích jako jsou haldy, výsypky, skládky, erozí ohrožené plochy, na kontaminovaných lokalitách a degradovaných půdách. Používají se tzv. stabilizátory povrchu půdy. Na suchem ohrožených stanovištích je prospěšná aplikace skupiny pomocných půdních látek tzv. hydroabsorbentů. Zcela jiné druhy těchto látek jsou využitelné u trávníků založených na nevhodných substrátech, na trávnících napadených chorobami a také u intenzivně využívaných trávníků golfových hřišť (např. silikátové koloidy, bioalgináty, mykorhizní preparáty) (Hrabě 2009). Pomocné půdní látky, které zadržují vodu a následně ji pozvolně uvolňují rostlinám, jsou v podstatě hydroabsorbenty. Ty se vyskytují jak v přírodní formě (lignit), tak ve formě syntetické (syntetický hydrogel) (Kováčik et al. 2016). Tuto schopnost jim umožňuje jejich struktura (Beniwal et al. 2010). Hydroabsorbenty mohou rostlinám pomoci přežít kritická období sucha (Zohuriaan-Mehr et al. 2010). Jsou jednou z možností, jak snížit vliv sucha, zlepšit kvalitu půdy, a tím i prostředí pro růst rostlin. Společně s pěstováním suchovzdorných druhů rostlin mohou PPL významně zvýšit efektivitu ozelenění krajiny (Harris & Zuberer 1993). Stále častěji se PPL využívají i při zakládání a ošetřování všech typů trávníků, a to v případech kdy není struktura půdy a další její vlastnosti v optimálním stavu pro vývoj rostlin. Nebo tam, kde je možné předpokládat, že budoucí využívání trávníku povede ke zhoršení těchto vlastností (Hrabě 2009). Jako např. u městských parků, které vznikají na bývalých brownfieldech a tím trpí mnohem více během horkého a suchého léta. Trávníky se tak stávají téměř nepoužitelnými a nemohou plnit svou rekreační funkci (Ignatieva et al. 2020). V praxi je využití PPL omežováno především vyššími náklady.

Zlepšení vlastností půdy je ekonomicky a technologicky výhodné, pokud se touto aplikací může dosáhnout ozelenění biologicky inaktivních nebo poškozených půd s nízkou aktivitou půdního edafonu (Evropský institut pro zadržování vody v krajině z.ú. 2017).

3.4.1 Lignit

Lignit je hydroabsorbent vyskytující se v přírodní formě, který je fosilního původu, má vyšší poměr C: N a vyšší obsah rekalitrantního uhlíku ve srovnání s recentní půdní organickou hmotou (Clouard et al. 2014). Lignit zlepšuje některé půdní vlastnosti, jako například obsah jílu, obsah organické hmoty a pórovitost půdy. Aplikace lignitu do půdy zvyšuje výnosy pěstovaných plodin (Kováčik et al. 2016). Podrobné a komplexní analýzy prokazují při použití lignitu obrovský biotechnologický potenciál spolu s *Bacillus* sp. pro zemědělskou produktivitu a zdraví životního prostředí (Akimbekov et al. 2021).

3.4.2 Syntetický hydrogel

Aplikace syntetického hydroabsorbentu zlepšuje zadržování vody v půdě a násobí pozitivní vliv lignitu (Montesano et al. 2015). Superabsorpční hydrogel je trojrozměrný zesíťovaný hydrofilní polymer, který dokáže absorbovat a zadržovat velké množství vody nebo jiných vodných roztoků. Superabsorpční hydrogel je vyroben z monomerů s afinitou k vodě a je široce používán v biomedicíně, čištění odpadních vod, hygieně a hnojivech s pomalým uvolňováním (Liu et al. 2022). Hydrogel je široce používán v zemědělství jako prostředek zadržující vodu a prostředek pro dodávání hnojiv, díky své vysoce porézní a hydratované struktuře (Li et al. 2023). Celulóžové hydrogely získané z papírového odpadu mohou zadržovat a postupně uvolňovat vodu a dusík pro růst rostlin (Madramootoo et al. 2023).

3.4.3 Biouhel

Biouhel má některé potenciální výhody pro městské substráty zelené infrastruktury. Obecně mohou přídavky biouhlu podstatně zvýšit úrodnost půdy, zlepšit fyzikální vlastnosti půdy, zlepšit schopnost půdy zadržovat vodu, podporovat sanaci půdy (viz Obrázek 7) a odstraňovat skleníkové plyny (Novotný et al. 2023). Vylepšeným substrátem o biouhel lze zvýšit i odolnost trávníků (Pyšková J. 2020). Biouhel vyrobený z biomasy a z různých surovin, např. kalů, potravinového odpadu, dřeva a rostlinných zbytků, lze použít v substrátech vhodných pro městskou zelenou infrastrukturu (zejména zelené střechy, zelená parkoviště a zelené stěny) (Novotný et al. 2023). Studie dokazují, že biouhel vyrobený z čistírenského kalu odpadních vod, který je bohatý na minerály, má při dešti tendenci uvolňovat živiny. Koncentrace živin v substrátu pro zelené střechy se však může opět zvýšit v důsledku vyplavování živin z biouhlu dešťovými srážkami. Jak potvrdily rozbory odtokové vody ze zelené střechy, substrát s obsahem biouhlu obsahuje více dusíku a fosforu pocházejícího z biouhlu, který vznikl pyrolýzou živin bohatých čistírenských kalů. Chemie růstového média (živiny a pH) a schopnost retence vody pravděpodobně hrají zásadní roli v rozdílech ve vývoji

vegetace. Biouhel dodává substrátu živiny a zadržuje vodu, čímž podporuje růst. Již po 4 měsících je na vegetaci vidět viditelný rozdíl mezi použitým substrátem s biouhlem a bez biouhlu (Petreje et al. 2023).



Obrázek 7: Ukázka ze státu Colorado (USA) - stav před aplikací biouhlu do půdy a stav po 13-ti měsících od použití biouhlu (Biouhel.cz 2016).

Biouhel vzniká přirozeným spalováním. Vyrábí se spalováním biomasy za podmínky s omezením kyslíku (Cheng et al. 2008). Předpona bio zde znamená obě tyto charakteristiky. Od dřevěného uhlí se liší tím, že je drobnozrnný, uhelnatění není uplatněno na kusové dříví a výsledný pevný produkt se nepoužívá jako palivo (Ekologický institut veronica 2013). Je stabilní organickou složkou substrátu (Novotný et al. 2023). Aplikace biouhlu by mohla změnit hodnotu pH půdy. Na pH závisí mnoho dalších faktorů, jako je kapacita výměny kationtů, obsah popela, dostupnost živin a další. Bylo také prokázáno, že biouhel zlepšuje úrodnost půdy, podporuje růst rostlin, zvyšuje výnos plodin a snižuje kontaminaci (Ding et al. 2016). Řada studií zdůrazňuje čistý přínos používání biouhlu z hlediska zmírňování globálního oteplování a jako aktivní strategie pro řízení zdraví půdy a produktivity (Cheng et al. 2008). Biouhlem lze zlepšit vlastnosti půdy hned v několika směrech. Například díky své poréznosti zvyšuje schopnost půdy zadržovat vlhkost a zároveň se provzdušňovat. Spolu s vodou zadržuje i živiny v ní rozpuštěné. Minerální látky může vázat i chemicky a vytvářet tak komplexy obdobné těm, které vytváří humus. Jeho obrovský vnitřní povrch je substrátem pro bohaté mikrobiální osídlení půd. A konečně, sám uhlík obsahuje všechny živiny, které obsahovala původní biomasa. Na rozdíl od popela, v němž zůstanou jen alkálie (draslík, vápník, hořčík) obsahuje uhlík též fosfor a síru. Množství dusíku bývá poloviční než v původní biomase. Fosfor i dusík je v uhlí fixován natolik dobře, že se nevyplavuje a nepřispívá k eutrofizaci vod (Ekologický institut veronica 2013). Nárůst živin dusíku a fosforu v půdě je také připisován vysoké pórovitosti a adsorpci biouhlu; z důvodu zadržování dešťové vody v pórech, to biouhel minimalizuje vyplavování živin z půdy (Chen et al. 2021). Definice přijatá Mezinárodní iniciativou pro biouhel (IBI) dále specifikuje potřebu cílevědomé aplikace materiálu do půdy pro zemědělství a environmentální zisk (Cheng et al. 2008). Vlastnosti biouhlu závisí na surovině a podmínkách pyrolýzy. Biouhel má různé fyzikálně-chemické vlastnosti, které ovlivňují dostupnost živin, absorpci znečišťujících látek a škodlivých plynů, sekvestraci uhlíku a zlepšení pH upravené půdy (Novotný et al. 2023). Vlastnosti biouhlu lze měnit v závislosti na technologii výroby. Výrobní proces je zahájen spalováním paliv, elektrickým ohřevem nebo mikrovlnami. V současné době se levné, jednoduché a tradiční technologie výroby dřevěného

uhlí přesouvají na moderní technologie výroby biouhlu, které vedou k vyššímu výnosu biouhlu (Ok et al. 2015). Většina produkovaného biouhlu má alkalický charakter. Biouhel lze však vyrobit mezi pH 4 a 12 (Lehmann & Joseph 2015). Biouhel vyrobený při vyšších teplotách (>400 °C) má obvykle vyšší pH než nízkoteplotní biouhel (<400 °C) ze stejné suroviny (Singh et al. 2017). Hodnota pH dřevěného biouhlu je nižší než pH rostlinných zbytků a organických odpadů (Ji et al. 2022).

3.5 Způsoby pro zlepšení suchovzdornosti trávníku

V posledních letech se veřejně přístupné parky staly hlavním kulturním místem a tento zvyšující se rekreační tlak se projevuje na vzhledu trávníků, jehož výsledkem jsou velké zhutněné, sešlapané plochy. Lidí, kteří chtějí využívat trávníky, je stále více. To vede k degradaci povrchu trávníku, k neustálým opravám poškozených míst i k častějšímu a finančně nákladnějšímu ošetřování (např. zalévání, provzdušňování a hnojení) (Ignatieva et al. 2020). V mnoha městech celé Evropy, která se stala cílem imigrace mládeže, jsou trávníky v parcích obzvláště navštěvované a vystavované velkému zatížení (Kabisch et al. 2015). Mezi testovanými alternativami trávníků jsou nejbližší myšlenke běžného trávníku povrchy bez trávy (tapisérie), kde kořeny a stolony produkují silný drn, který snese tlak lidského sešlapání. Tyto trávníky jsou založeny na směsi nízkých půdokryvných bylin, které se již vyskytují na aktivně navštěvovaných trávnících. Několik málo původních evropských bylin (*Potentilla*, *Prunella*, *Veronica*, *Trifolium*, *Lotus*, *Hieracium* a *Polygonum aviculare*) lze pro tyto účely použít. Takové trávníky však vyžadují experimentální zkoušky a další výzkumy ohledně jejich odolnosti vůči lidské zátěži. Dokonce i na mimoevropských trávnících, například v Číně, existuje na běžných trávnících také několik původních bylinných druhů, které lze považovat za potenciální kandidáty při vytvoření udržitelných budoucích alternativ trávníků (Yang et al. 2019). Jiný přístup byl představený teprve před několika lety. Byl inspirován naturalistickým hnutím za louky ve Spojeném království „Woody Meadows“. Myšlenkou hnutí „Zalesněné louky“ je vysadit původní nízké rostliny (byliny a nižší keře) v „navržené“ městské krajině. Cílem projektu, založeného na přirozených rostlinných společenstvech je vytvořit vizuálně zajímavé krajiny, které vyžadují jen minimální údržbu, jako je zavlažování a základní péče (The University of Melbourne 2019). Při propagaci nové generace trávníků založených na přírodě, by se takovéto nové alternativy trávníků měly výrazně lišit od běžných trávníků, pokud jde o jejich nákladovou efektivitu, biologickou rozmanitost, odolnost proti sešlapání a stabilitu v extrémních povětrnostních podmínkách. Zároveň by měly zůstat napojeny na sociální potřeby svých uživatelů, jako jsou určité kvality trávníku, vybavenost zeleně a různé rekreační aktivity. Takovéto nové trávníky, by měly sloužit jako hodnotné a odolné součásti městské zelené infrastruktury v rostoucích městech (Ignatieva 2017). Alternativní řešení založená na přírodě by však měla být striktně specifická pro město a zemi. Například v evropských městských ekosystémech existuje mnohem více možností k rozvoji rostlin odolných vůči suchu a sešlapání. Některé místní rostliny jsou již součástí zeleně v intenzivně využívaných parcích, jako výsledek původní sukcese. Mnoho „původních“ trávníků v Evropě, které existují již několik desetiletí a kde se vyskytovala přirozená stadia sukcese, by bylo možné prozkoumat a napodobit na experimentálních místech (Ignatieva et al. 2020).

Správný způsob ošetřování trávníku podpoří celkovou vitalitu rostlin, a tedylepší i odolnost proti suchu. Nesprávně prováděné ošetřování, např. nadměrné nebo nevyrovnané hnojení, může naopak citlivost rostlin zvýšit (Hrabě 2009).

3.5.1 Závlaha trávníků a vztah k životnímu prostředí

Travní průmysl se skládá ze zavlažovaných a nezavlažovaných oblastí, které zahrnují domácí trávníky, komerční nemovitosti, golfové hřiště, atletická hřiště, drnové farmy, okraje silnic, parky a další městské zelené plochy (Braun et al. 2022b). Nárůst městské populace, zejména v polosuchých městech, vedl v mnoha oblastech světa k neudržitelnému využívání vody (Hogue & Pincetl 2015). Nezbytné pro ovlivnění fyziologických funkcí rostlin, pro chlazení a absorpci CO₂ je dostačující adekvátní zavlažování, nadměrné zavlažování není potřeba (Li & Wang 2021). Správný režim zavlažování zvyšuje chladicí účinek trav (Ignatieva et al. 2020). Ideální čas pro závlahu je brzy ráno, když je nižší teplota, vyšší vzdušná vlhkost a většinou nefouká vítr (Straková 2018). Vzdělávání obyvatel měst o tom, jak zalévat soukromé a veřejné zahrady a jak vybírat trávníky, které jsou odolné vůči suchu, může být vhodným opatřením (Ignatieva et al. 2020). Pro zmírnění efektu městského tepelného ostrova v horkém aridním klimatu, jako jsou australská města, se stal zavlažovaný trávník důležitým faktorem (Norton et al. 2015). Případové studie severní polokoule z USA a Evropy nastínily problémy se záplavami a zvýšeném doplňování vody a zmínily značný význam trávníku pro snížení odtoku vody a zvýšenou infiltraci vody (Monteiro 2017). V teplých, vlhkých nebo suchých klimatických zemích jsou trávníky využívány celoročně, jejich stav je však závislý na zavlažování, což vyvolává obavy z nadměrného využívání vody, zejména ve vyprahlých městech (Ignatieva et al. 2020). Jedním z největších producentů a spotřebitelů trávníku, kde trávník představuje největší zavlažovanou nepotravinářskou plodinu v zemi, jsou Spojené státy (Alumai 2008). Výsledky výzkumů ukazují, že charakteristiky využití vody se liší podle druhu, zavlažovacího režimu a klimatických podmínek (DaCosta & Huang 2006b). Množství vody potřebné pro trávník je tedy ovlivněno druhem, kultivarem, klimatem, kvalitou vody, zavlažováním, kulturním hospodařením, typem půdy a estetikou (Leinauer & Devitt 2013). Znalost evapotranspirace trávníku a odolnosti vůči suchu může umožnit zachování vody tím, že povede k vhodnému výběru trávníku vzhledem k podnebí a plánování zavlažování (Colmer & Barton 2017). Pochopení požadavků na využívání vody u různých druhů trav je důležitá pro výběr trav, které zvládají snížený přísun vody, a také pro rozvoj účinných postupů řízení zavlažování (DaCosta & Huang 2006a). Znalost míry využití vody a reakcí na postupy nedostatečného zavlažování u trávníků je důležitá, zejména v podnebí, kde je zavlažování vyžadováno pro udržení kvality trávníku (Braun et al. 2022a). Pokus, který porovnával evapotranspiraci trávníků při doporučených dávkách vody, týkající se požadavků na zavlažování trávníku, měřený na svém původním místě v oblasti Los Angeles vyhodnotil, že evapotranspirace z nezastíněných trávníků byla o 40 % vyšší než doporučené dávky zavlažování a evapotranspirace ze zastíněných trávníků byla většinou v doporučených mezích (Litvak & Pataki 2016). Do budoucna by zavlažování založené na procesech mohlo zvýšit porozumění vlastnostem trávníku a dalším faktorům ovlivňujícím evapotranspiraci a odolnost vůči suchu a dále napomáhat efektivnímu využívání vody v systémech trávníků (Colmer &

Barton 2017). Minimální zavlažování, které může vést k dormanci během dlouhodobého sucha, ale umožňuje následné zotavení, může ušetřit vodu a zabránit drahé obnově (Hong et al. 2021). I v období letní dormance, alespoň občasná závlaha trávníku sice nezpůsobí okamžitou reakci a zazelenání rostlin, ale zabrání naprostému odumření trávníku. Pokud dojde ke změně klimatických podmínek a po období sucha nastane období dostatečných srážek, trávník se opět vzpamatuje a ožije (Straková 2018).

Během sucha mohou úřady zavést omezení vody pro zavlažování s malým ohledem na poškození trávníku. Výzkum hodnotící výkonnost odrůd *Poa pratensis* během dlouhodobého vysychání a následného zotavení ukazuje, že *Poa pratensis* mají vynikající regenerační schopnost i po dlouhodobém suchu a jsou dobrou volbou pro oblasti, kde je možný rozšířený zákaz zavlažování trávníku (Goldsby et al. 2015). V mnoha australských městech (například v Melbourne a Sydney) a v polosuchých státech USA (v Kalifornii a Arizoně) existují přísné zákazy používání vody k zavlažování trávníků (Hogue & Pincetl 2015). Postupy hospodaření, které snižují spotřebu vody v krajině, se stanou důležitějšími, protože zásoby pitné vody budou ubývat. V současné době se značná část městské vody v horkém a suchém klimatu používá pro účely krajinářství (Johnson et al. 2009). U trávníků v suchých a polosuchých oblastech je zapotřebí vydatné zavlažování pro udržení živé a zelené trávy. Studie ze suchých oblastí Spojených států odhalily, že trávník spotřeboval až 75 % celkové roční spotřeby vody v domácnostech (Milesi et al. 2005). Oblast vědy o trávnících musí i nadále poskytovat průmyslu a spotřebitelům informace založené na výzkumu o využití trávníkové vody, aby se s vodními zdroji potřebnými pro hospodaření s trávníkem zacházelo s maximální účinností a aby byla chráněna a zlepšena kvalita vody (Kopp & Jiang 2013). Rostoucí poptávka po dodávkách pitné vody bude nadále omezovat její využití pro rekreační nebo estetické účely. Zvýšení rovnoměrnosti distribuce zavlažování by minimalizovalo ztráty a snížilo požadavky na zavlažování. Bylo prokázáno, že inteligentní ovladače zavlažování, které se automaticky přizpůsobují denním změnám v evapotranspiraci, přesně určují požadavky na zavlažování na místě (Leinauer & Devitt 2013). Zavlažování městských trávníků představuje vysoké procento městské spotřeby vody. Využití informačních a komunikačních technologií (ICT) nabízí možnost sledování stavu trávy, za účelem úpravy závlahového režimu (Marín et al. 2018). Vize budoucích udržitelných trávníků, je založena na komplexním hybridním přístupu. Takové trávníky by si zachovaly svou podstatu- odolný povrch (ekvivalent trávníku), ale byly by tvořeny rostlinami (trávami, bylinnými druhy anebo půdokryvnými rostlinami), které vydrží rekreační tlak. Alternativy k trávníkům by se zároveň měly spoléhat na celou řadu udržitelných strategií plánování, návrhu a správy. Trávník jako fenomén bude mít s největší pravděpodobností v budoucích městských ekosystémech dlouhou životnost. Nastal čas pro vytvoření nového koncepčního rámce pro výzkum trávníků (Ignatieva et al. 2020).

3.5.2 Vertikutace

Jedná se o mechanickou operaci zlepšující vzhled trávníku, při níž se vertikálně prořezává travní drn (Ondřej 1997). Dochází k mělkému prořezu a pročesávání nadzemní drnové části s nastavitelným sklonem nožů, který se nejčastěji provádí na jaře nebo v pozdním létě (Hrabě 2009). Při vertikutaci se odstraní odumřelé části rostlin tvořící tzv. „travní plst“. Ta

je tvořena výhonky, výběžky a listy, které se nestačí při menší mikrobiální aktivitě rozložit. Tato plst' zvyšuje napadení trávníku chorobami (Svobodová 2004). Nadměrné hromadění plsti je vážným problémem při údržbě trávníků (Murray & Juska 1977). Cílem vertikutace je provzdušňování povrchové vegetační části drnové vrstvy. To způsobuje zvýšení cirkulace vzduchu, rychlosti průsaku vody a živin do vegetační vrstvy, podporu růstu kořenů a zvýšený přívod světla k jejich odnožovací zóně (Hrabě 2009). Prořezání narušuje i přízemní růžice dvouděložných plevelných rostlin a tím omezuje jejich nechtěný růst (Ondřej 1997). Hospodaření s organickou hmotou v půdě je klíčovou součástí údržby zeleně a trávníku. Hromadění organické hmoty ve formě plsti je hlavním problémem moderního hospodaření s trávníkem. Navíc odpuzování vody v půdě způsobené hydrofobními organickými povlaky na částicích písku, může způsobit vážné problémy s pronikáním vody do půdy, a i potenciální problémy s odtokem vody, a tak přispět ke snížení kvality trávníku (Sidhu et al. 2022). Kultivace v systémech řízených trávníků, a zejména kultivace golfových trávníků, se týká mechanických metod selektivního zpracování půdy za účelem modifikace fyzikálních a případně dalších vlastností trávníku. Nejstarší běžná kultivační praxe se nazývala „vidle“, používala nože nebo vidle. Koncem 40. a začátkem 50. let byly první komerční výrobou a distribucí kultivačního zařízení West Point Aerifer a Verticutter. Tyto rané inovace nejenže pomohly správcům trávníku zvládnout zhutnění půdy, ale vedly k vývoji sofistikované řady zařízení a postupů, které se dnes používají ke zlepšení a udržení kvality trávníku. Nedávno vyvinuté kultivační metody zahrnují systémy vstřikování vody, písku, štěrku a vzduchu. Bez ohledu na způsob pěstování, neboť cílem zařízení je dosáhnout úpravy kořenové zóny půdy s co nejmenším narušením povrchu (Turgeon & Fidanza 2017). **Skarifikace** je v podstatě hlubší vertikální prořez, zasahující i svrchní část (5–20 mm) vegetační vrstvy (Hrabě 2009). V období dlouhodobého sucha a vysokých teplot, není rozhodně vhodné, jakkoliv trávník zatěžovat, provádět mechanické zásahy (vertikutace, aerifikace, pískování) a aplikovat přípravky na ochranu rostlin (Straková 2018).

3.5.3 Aerifikace

Jedná se o mechanické ošetření, při kterém se půda provzdušňuje. Provádí se za účelem zlepšení úpravy fyzikálních vlastností půdy, a to především na zhutněných místech. Toto ošetření zlepšuje vzdušné i vlhkostní podmínky půdy, které vedou k lepší regeneraci travního drnu (Atkinson et al. 2012). Principem aerifikace je vytvoření otvorů či průřezů do půdy, zlepšující průsak vody a průnik vzduchu (Hessayon 2002).

Výsledky studie prokázaly genetické variace ve fyziologických reakcích výhonků na vysokou teplotu a špatné provzdušňování půdy u *Agrostis palustris*. Navíc ukázaly, že vysoká teplota v kombinaci se špatným provzdušňováním půdy vede k poklesu kvality trávníku. To bylo způsobeno především sníženou fotosyntézou a zvýšenou rychlostí dýchání (Huang et al. 1998). Studie popisuje, že hluboká aerifikace (vrtání otvorů o průměru 2,5–15,2 cm hlubokých ve středech 7,6 cm a zasypání vhodným porézním růstovým médiem) zvýšila vitalitu trávníku a rychlost příjmu vody na usazeném „greenu“ se zhutněnou půdou. Růst kořenů byl rozsáhlý v dírách, ale jen velmi málo kořenů rostlo v nenarušené kompaktní půdě. Rychlosti difúze kyslíku byly v kompaktní půdě velmi nízké (Morgan et al. 1965). Nedostatek kyslíku v půdě způsobí,

že anaerobní organismy začnou převažovat nad aerobními bakteriemi a tím dochází ke vzniku nežádoucích chemických látek, které způsobují vyšší náchylnost k houbovým chorobám (Snowden 2017).

3.5.4 Pískování

Pískováním se zaplňují díry, které vznikly po aerifikaci. Také jím lze srovnat menší nerovnosti terénu (Cagaš 2011). Cílem je zlepšení fyzikálních charakteristik povrchové části vegetačního substrátu, zlepšení podmínek pro odnožování trav, rychlejší osychání povrchu po dešťových srážkách pomocí ostrého křemičitého písku. Provádí se 1 x za rok jako součást komplexních regeneračních opatření v letním období (Hrabě 2009). Hlavní motivací pro vysoký obsah písku v kořenových zónách je odolat zhutňování půdy častým pohybem a udržovat dobrý stav provzdušnění. Tyto výhody jsou v rozporu s hlavní funkcí kořenové zóny, kterou je uchovávání vody a živin (McCoy & McCoy 2009). Vysoce kvalitní půda pro obecné použití při založení trávníku by měla obsahovat asi 65 % písku (McCoy 1998). Spolu s pískem je možno aplikovat i kompost, ale pokud je kompost aplikován jako povrchová pokrývka bez zapracování, musí se ještě přidat zemina, aby se snížila hustota média a zvýšil se růst rostlin (Logsdon & Sauer 2016).

3.5.5 Hnojení

Hlavním cílem hnojení trávníku je udržení vysoké kvality a získání správné barvy trávníku. Hnojivá závlaha (fertigace) byla uznána jako nejlepší metoda pro správnou výživu trávníku a pro minimalizaci vyplavování dusíku (Głąb et al. 2020). Dalším cílem hnojení trávníku je i udržení vysoké hustoty trávníku bez podpory nadměrného růstu. K dosažení tohoto cíle by měl být program hnojení přizpůsoben růstovým charakteristikám trávníku. Dusík by měl být aplikován v míře a frekvenci, která odpovídá poptávce trávníku. Hnojiva by měla být aplikována, když trávník aktivně roste, aby se minimalizovalo vyplavování dusíku (Chen et al. 2018). Dávka dusíku použitá k produkci vysoce kvalitního trávníku se liší v závislosti na druhu a pohybuje se od 100 kg do 300 kg dusíku na 1 ha za rok (Martin del Campo et al. 2019). Již po desetiletí panují obavy, že tak vysoké množství dusíku musí mít zajisté za následek značné ztráty, zejména vyplavováním anorganického dusíku. Dusík aplikovaný při hnojení, může být buď pohlcen trávníkem, denitrifikován v půdě a odpařen na plynný dusík půdními mikroby, nebo být imobilizován do organické hmoty půdy (Petrovic 1990). Dusík, který není zapojen do těchto procesů, bude pravděpodobně vyluhován. Vyluhování dusičnanů bylo dlouho zdůrazňováno jako primární způsob ztráty dusíku z trávníku. Vyluhování dusíku může degradovat povrchové a podzemní vody, což má za následek eutrofizaci, acidifikaci a zásobování nepitnou vodou (Chen et al. 2018). Vysoké hodnoty dusíku mohou nejen způsobit eutrofizaci, ale také zvýšit emise skleníkových plynů a plynů poškozujících ozonovou vrstvu (Groenvelt et al. 2019). Vzhledem k tomu, že sportovní trávník obecně vyžaduje pravidelné zavlažování a aplikaci hnojiv, je vyluhování dusíku stále větším problémem. Celková ztráta živin, zejména dusíku, dodávaných jako běžná hnojiva u jednoletých plodin se odhaduje na 30 % až 50 % (Jarosiewicz & Tomaszewska 2003). Podle jiné studie se roční míra vyplavování

dusíku pro trávník pohybuje od 0 kg do 160 kg dusíku na 1 ha a představuje až 30 % hnojiva aplikovaného s dusíkem (Barton & Colmer 2006). Vyluhování lze omezit zajištěním toho, že dusík je aplikován v míře, kterou je systém půda-rostlina schopen asimilovat (Carpenter et al. 1998). Hnojiva s pomalým uvolňováním poskytují postupný přísun živin po dlouhou dobu, což zlepšuje efektivitu použití dusíkatých hnojiv. Použití hnojiv s pomalým uvolňováním v zemědělství je obvykle omezeno na trávník (Zhang et al. 1998). Další způsob pro snížení vyplavování dusíku je použití specifického typu řízení hnojení, nazývaného krmení lžičkou. Krmení lžičkou se stalo standardním prostředkem hnojení zeleně, u substrátů na bázi písku a překonání nedostatků jejich schopnosti zadržovat živiny (Carrow 1997). Způsob aplikace hnojiva, při kterém se hnojivo obvykle přidává do zavlažovacího systému, bylo uznáno jako nejlepší metoda hnojení pro stabilizaci dusíkaté výživy trávníku a minimalizaci vyplavování dusíku. Hlavními výhodami této aplikační techniky jsou rovnoměrná distribuce hnojiva, minimální vyplavování živin a snadná kontrola barvy trávníku a rychlosti růstu. S hnojením odpadá zhuštění způsobené pojezdem zařízení. Navíc, protože není potřeba těžké rozmetací zařízení, jsou náklady na zařízení drasticky sníženy (Bar-Yosef 1999). Obě uvedené metody jsou šetrné k životnímu prostředí, protože zabraňují vyplavování rozpustných živin pod kořenovou zónou. V každodenní praxi však správci trávníků často používají aplikační dávky dusíku, které jsou nad doporučenými úrovněmi, což vytváří problémy související s interakcí salinita-dusík, zejména u trav subtropického a tropického podnebí (Pompeiano et al. 2014).

Studie zabývající se určením optimální dávky a sestavením harmonogramu hnojení pro získání vysoce kvalitního trávníku s minimálními ztrátami živin zjistila, že vyšší míra hnojení měla za následek tmavší listy s vyšším obsahem zeleného odstínu než listy s nižšími dávkami. U trávníku hnojeného v různých časových intervalech nebyly žádné rozdíly v barevném odstínu. Kvalita trávníku byla ovlivněna rychlostí a intervalem hnojení. Tento efekt byl významný pro celkový vzhled a barvu trávníku i strukturu listů, ale ne pro pokryv trávníku (Głęb et al. 2020). Také kompost zlepšuje a zesiluje účinek s dalšími vstupy pro hospodaření s trávníkem, jako jsou hnojiva, voda, pesticidy, stabilizátor pH a klíčení semen. Výsledkem jsou vysoce kvalitní trávníky se sníženými náklady na správu. Charakteristickým přínosem může být také významná výhoda pro životní prostředí prostřednictvím odklonu organických látek od neúčinného použití k produktu, který poskytuje sekvestraci uhlíku, zvýšenou biologickou rozmanitost půdy a zlepšenou kvalitu povrchových a podzemních vod. Využití kompostu při hospodaření s trávníkem je skutečně srovnatelné se zemědělstvím (Hill 2021).

3.5.6 Seč trávníků s ohledem na sucho

Krátce posečené travní porosty určené pro rekreační využití jsou dominantní formou městské zeleně v oblastech mírného pásma, ale vyžadují značnou údržbu a pro většinu taxonů obvykle poskytují omezenou hodnotu stanoviště (Norton et al. 2019). Zjištění při pokusu v horní části středozápadu Spojených států a oblastí s klimatickým podnebí podobným klimatu v St. Paul, doporučuje si vybrat směsi obsahující vyšší obsah *Festuca* sp. a přizpůsobit výšku sečení pro optimalizaci zotavení po suchu. Pokus s akutním suchem u dvou rozdílných výšek sečení u *Festuca arundinacea* a dalšími druhy *Festuca* si obecně vedly jako dominantními druhy lépe během ošetření suchem, zatímco zvyšující se výskyt *Lolium perenne* a *Poa pratensis*

snížoval vizuální účinnost produktů při suchu. Během období obnovy byl pozorován vliv interakce mezi výškou sečení a datem sběru dat na procento zeleného pokryvu: nižší výška sečení zlepšila včasnou obnovu zeleného pokryvu po akutním suchu (Breuillin-Sessoms et al. 2021). Upravené travnaté plochy jsou zdrojem i spotřebitelem skleníkových plynů. Způsoby hospodaření, včetně výběru trávníku a sečení, ovlivňují množství uhlíku a dusíku uloženého v půdě, stejně jako související emise skleníkových plynů. Obecně platí, že výnosnější trávy a postupy hospodaření zvyšují půdní uhlík, ale také zvyšují požadavky na sečení a tím i emise. Bylo zjištěno, že vrácení posekané trávy zvyšuje výnos. Půdní a listovou tkáň dusík a půdu uhlík, ale také nepatrně zvyšuje požadavky na sečení. Výsledky experimentu podporují tvrzení, že obhospodařované travnaté plochy mohou působit jako jímka uhlíku, která pomáhá omezit zvyšující se koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. Potenciál sekvestrace uhlíku obhospodařovaného trávníku je další z mnoha funkčních výhod městských travních porostů (Law & Patton 2017). Městské a předměstské trávníky při nízké až střední intenzitě obhospodařování jsou důležitým propadem atmosférické depozice dusíku (Raciti et al. 2008). Typologie evropských trávníků a jejich složení a struktura je regulována managementem, a především frekvencí sečení. Například ve Švédsku existují běžné trávníky, které se často sekají, a trávníky podobné loukám (vysoká tráva a městské louky), které se sekají jednou až dvakrát ročně. Oblasti s vysokou trávou mají větší potenciál pro biologickou rozmanitost, jsou-li správně udržovány (sběr odřezků po sečení, aby se omezila úrodnost půdy) a se správným harmonogramem sečení (ve správný čas sezóny). Nedávné studie mírných pásem severní polokoule ukázaly, že pozitivní účinky sekvestrace půdního uhlíku v intenzivně obhospodařovaných trávnících mohou být negovány emisemi skleníkových plynů generovanými rutinními manažerskými operacemi, jako je sekání, aplikace hnojiv a zavlažování (Ignatieva 2017). Výsledky studie ve Francii jasně ukazují, že snížení frekvence sečení vyvolává dramatický nárůst různých složek diverzity rostlinných společenstev, což vede k přechodu z městských trávníků na městské louky (Chollet et al. 2018). Navíc při seči v suchém období na velmi nízko, dochází u trávníku k silnému stresu, ze kterého se rostliny již nemusí vzpamatovat a uschnou. Vyšší výška trávníku svým přistíněním také lépe chrání povrch půdy před výparem a zlepšuje mikroklima v trávníku. Pokud už je nutné trávník v létě sekat, tak pouze brzy ráno nebo večer, kdy teplota při sečení nepřekračuje 26 °C. Jednorázově se však nesmí posekat více, než 1/3 listové plochy čepele (Straková 2018). Experimentální studie v Anglii ukázala, že široká škála respondentů zapojených do experimentu byla ochotna tolerovat vzhled luk mimo období květu, zejména pokud jim byly poskytnuty informace o jejich biodiverzitě a estetických přínosech (viz Obrázek 8) a potenciálních úsporách nákladů (z důvodu snížené frekvence sečení). Přeprocování městských zelených ploch a parků prostřednictvím vytváření druhově bohatých luk může poskytnout oboustranně výhodnou strategii pro biologickou rozmanitost i pro lidi a potenciálně zlepšit propojení mezi nimi (Southon et al. 2017). Zvyšování městské biodiverzity a snižování emisí skleníkových plynů jsou silnými motivátory pro snižování intenzity hospodaření na trávníku (Watson et al. 2019). Zvýšená výška seče je nedůležitější a nejlevnější opatření, kterým lze dosáhnout udržení zelené barvy trávníku i v suchém období (Straková 2018). V přirozených ekosystémech se minerály absorbované rostoucími organismy po rozkladu organické hmoty vracejí do půdy a úrodnost půdy je víceméně udržována koloběhem živin (Le Bot et al. 1998). Proto seč s mulčováním se stává stále více standardní metodou používanou při údržbě trávníků s nízkým vstupem. To lze

přičíst úspoře nákladů, protože tyto systémy údržby nevyžadují nakládání a odvoz posečené trávy. Je také možné snížit množství hnojení dusíkem a tím ušetřit náklady na hnojiva (Knot et al. 2017). Starší travníky v mírném klimatu severní polokoule obvykle zahrnují některé širokolisté bylinné druhy (*Trifolium repens*, *Potentilla anserina*, *Prunella vulgaris*), které se dokážou přizpůsobit výšce sečení. Životní návyky těchto rostlin přizpůsobit se častému sečení jim umožnily projít jejich životním cyklem a produkovat květy, čímž přilákaly opylovače, jako jsou včely a čmeláci (Ignatieva 2017).



Obrázek 8: Mozaikovitá seč umožňuje živočichům přesunout se z posečené plochy na tu neposečenou. Na snímku pražská Divoká Šárka (Straková 2019).

3.6 Zlepšení mikroklima měst s pomocí travních porostů

Oteplování spojené s rozvojem měst, bude v budoucích letech ještě umocněno nárůstem teplot v důsledku klimatických změn. Strategická realizace městské zelené infrastruktury, např. pouliční stromy, parky, zelené střechy a fasády, mohou pomoci dosáhnout snížení teploty v městských oblastech a zároveň přinést různé další výhody, jako je např. snížení znečištění a zvýšení biodiverzity stanovišť (Norton et al. 2015). Budovy a nepropustné povrchy jako beton a asfalt, nahrazují v městském prostředí otevřenou půdu a vegetaci, čímž se vytvářejí jiné tepelné objemové vlastnosti, jiná tepelná kapacita a tepelná vodivost v zastavěném prostředí (viz Obrázek 9) (Balany et al. 2020). Cenným výstupem v úsilí budování zelené infrastruktury je plánování a vytváření zelených ploch, které pomáhají udržovat čistý vzduch, lepší kvalitu

vody, snižovat znečišťující látky, zmírňovat hluk, podporují pozitivní emoce obyvatel města a další prospěšné funkce v městských oblastech (Rendeková et al. 2022). Přibližně 10 km³ (10¹³ l) dešťové vody ročně, která z měst odtéká bez užítu, by se mohla stát vodou dále využitelnou.



Obrázek 9: Odrazivost povrchů zastavěného města a otevřené krajiny (Pavelka 2022).

To by mělo za následek snížení městských záplav a snížení znečištění přijímajících vodních ploch (Mell & Whitten 2021). Ozelenění měst je účinným nástrojem pro zmírnění změny klimatu v městských oblastech (Kistenkas & Borgström 2014). Ozelenění městských povrchů by snížilo i letní teplotu a to o 2,5–6 °C, se zmírněním efektu městského tepelného ostrova (Quaranta et al. 2021). Vedle hledání úspory finančních nákladů jak na její založení, tak na následnou péči, se na této změně podílí i celkový postoj obyvatelstva k přírodě, zdravý životní styl a uvědomování si sounáležitosti člověka s přírodním prostředím, přírodními procesy apod. K nejčastějším typům přírodě blízkých vegetačních prvků, které vycházejí z ekologických principů a současně jsou alternativou ke kobercovým či parkovým trávníkům patří např. květnaté trávníky, květnaté trávníky obohacené o letničky, bylinné směsi, šterkové trávníky (Pilušová & Kuřková 2015).

3.6.1 Šterkové trávníky

Stavby šterkového trávníku jsou často realizovány v německy mluvících zemích, kde se dostaly v 60 až 80 letech do popředí zájmu zvláště pro jejich vsakovací vlastnosti. Proto bylo přistoupeno k několika výzkumům a zřízení pokusných ploch. Také v České republice se provádí výstavby šterkových trávníků (Hallmann & Forner 2004). Podle německé normy FLL „Doporučení ke stavbě a péči o šterkové trávníky“ je označován jako šterkový trávník plocha, která je uzpůsobená dopravnímu zatížení a osetá travami (Heidger et al. 2000). Směsi pro šterkové trávníky mohou být složeny pouze z travních druhů nebo mohou obsahovat příměs bylin (viz Obrázek 10) (Agrostis Trávníky s.r.o. 2017). Šterkové trávníky se využívají na místech, kde se původně se zelení nepočítalo. Mohou být použity nejen na povrch parkovišť, ale rovněž jako součást pochozích či rekultivovaných ploch. Jsou obvykle navrženy v místech, kde se běžně používá pouze asfalt nebo beton, a zajišťují proto nejen ozelenění těchto ploch,

ale díky své pórovitosti a propustnosti zároveň zaručují retenci daného stanoviště. V současné době jsou do směsí pro štěrkové trávníky často používány kromě rozmanitých druhů trav také některé kvetoucí rostliny, jako je např. *Campanula rotundifolia* (zvonek okrouhlostý), *Lotus corniculatus*, *Ranunculus repens* (pryskyřník plazivý), atd. (Pilušová & Kuřková 2015).



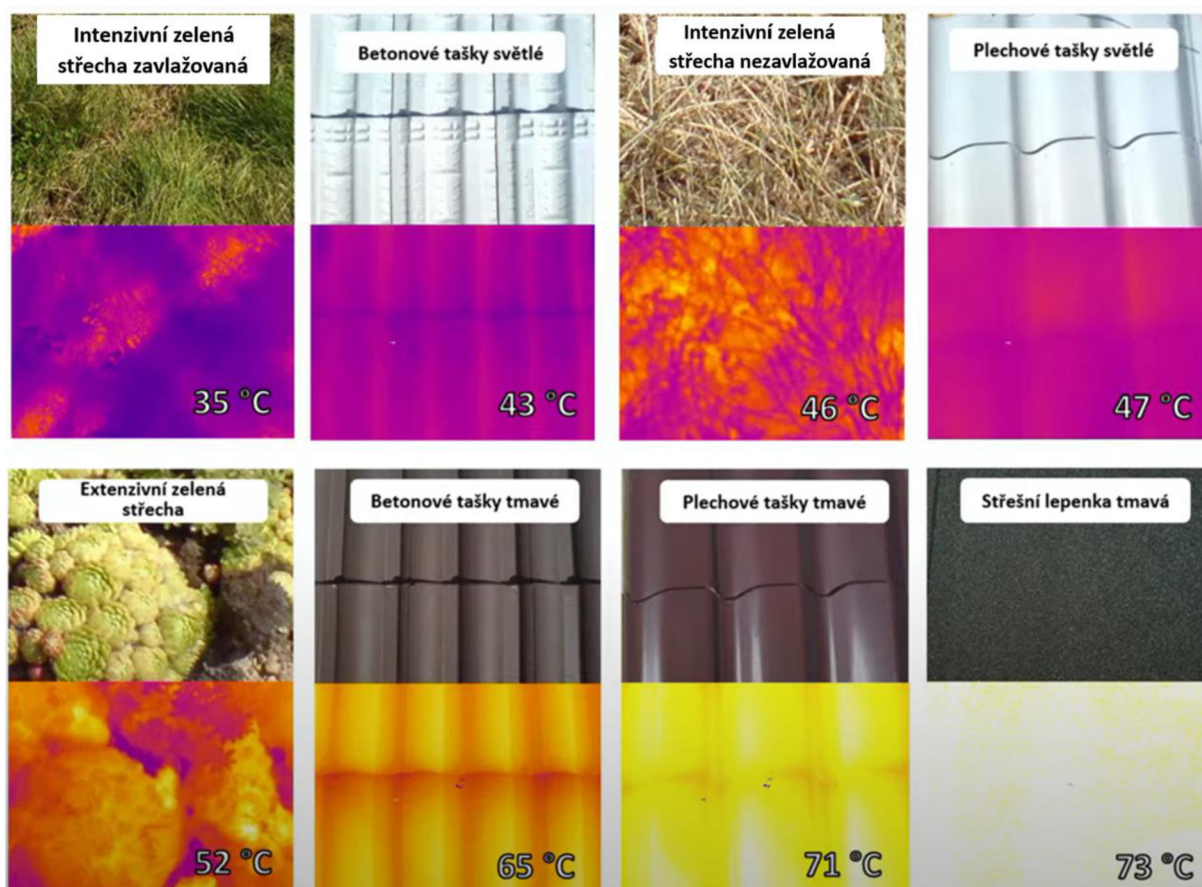
Obrázek 10: Štěrkový trávník s příměsí dvouděložných rostlin (Agrostis Trávníky s.r.o. 2017).

Podle intenzity využití jsou zakládány štěrkové trávníky s jednou nosnou vegetační vrstvou s mocností 15–30 cm nebo se dvěma vrstvami, kde hlubší vrstva je drenážní o mocnosti 20–25 cm z hrubšího materiálu a svrchní vrstva má mocnost 10–15 cm a obsahuje jemnější frakci štěrku smíchanou s kompostem. Při výstavbě dvouvrstevných štěrkových trávníků může nastat nepříjemná situace, kdy je svrchní vrstva kvůli slabší mocnosti snadněji rozrušena a jemnější částice postupně tlakem a srážkami klesají do spodní drenážní vrstvy, kde negativně působí na její propustnost (Straková 2012).

3.6.2 Zelené střechy

Zelené střechy (střechy s vegetačním povrchem a substrátem) poskytují ekosystémové služby v městských oblastech, včetně zlepšeného hospodaření s dešťovou vodou, lepší regulace teplot budov, snížení efektů městských tepelných ostrovů a větší výskyt městských přírodních stanovišť (Oberndorfer et al. 2007). Jedna z mnoha výhod zelených střech je schopnost zadržování a regulace odtoku dešťových vod. Velká část srážkové vody se ze zelených střech

vypaří a tím podstatně odlehčí kanalizačním systémům. Tímto je podporován přirozený vodní cyklus, který je ve městech narušen takzvaným „klimatickým deštíkem“ (TZB-info 2014). Podmínky na střeše jsou náročné pro přežití a růst rostlin. Stres z vlhkosti a velké sucho, extrémní (obvykle zvýšené) teploty, vysoká intenzita světla a vysoká rychlost větru zvyšují riziko vysychání a fyzického poškození vegetace a substrátu (Oberndorfer et al. 2007). Od 80. let 20. století vědci testovali mnoho dřevin a bylinných taxonů v různých střešních podmínkách (Monterusso et al. 2005). Studie Van Woert et al. (2005) vyhodnotila, že pro použití v zelených střeších jsou vhodné nízko rostoucí druhy *Sedum*, které dokáží přežít v tenkých vrstvách substrátu 2–3 cm. Trávy a luční byliny se používají pro intenzivní zelené střechy, které mají poskytnout i estetický dojem. Tyto střechy však potřebují občasnou péči, jako je např. vypletí, seč, nutné je občasně přihnojení a pro správné fungování (viz Obrázek 11) i pravidelná závlaha (cca 3,5 l vody na 1 m²). Střecha s použitím trávy by měla mít vegetační vrstvu silnou nad 10 cm. Vhodné druhy trav k osázení jsou např. *Bromus tectorum* (sveřep střešní), *Carex flacca* (ostřice ochablá), *Carex humilis* (ostřice nízká), *Festuca amethystina* (kostřava ametystová), *Festuca ovina*, *Festuca rupicaprina* (kostřava kamzičí), *Festuca valesiaca* (kostřava walliská), *Melica ciliata* (strdivka brvitá), *Poa compressa* (lipnice smáčknutá) (SZUZ 2013). Pro častý stres vegetace na zelených střeších způsobený suchem se upřednostňují některé ruderalní druhy (Grime 2006), které mohou rychle obsadit mezery v porostu. Společenstva zelených střech jsou dynamická a časem se vegetace pravděpodobně změní oproti původní skladbě (Köhler 2006).



Obrázek 11: Studie Mgr. Mariana Pavelky, Ph.D. o tepelném působení na vybraný sortiment střešních krytin (Pavelka 2022).

3.6.3 Zelené tramvajové pásy

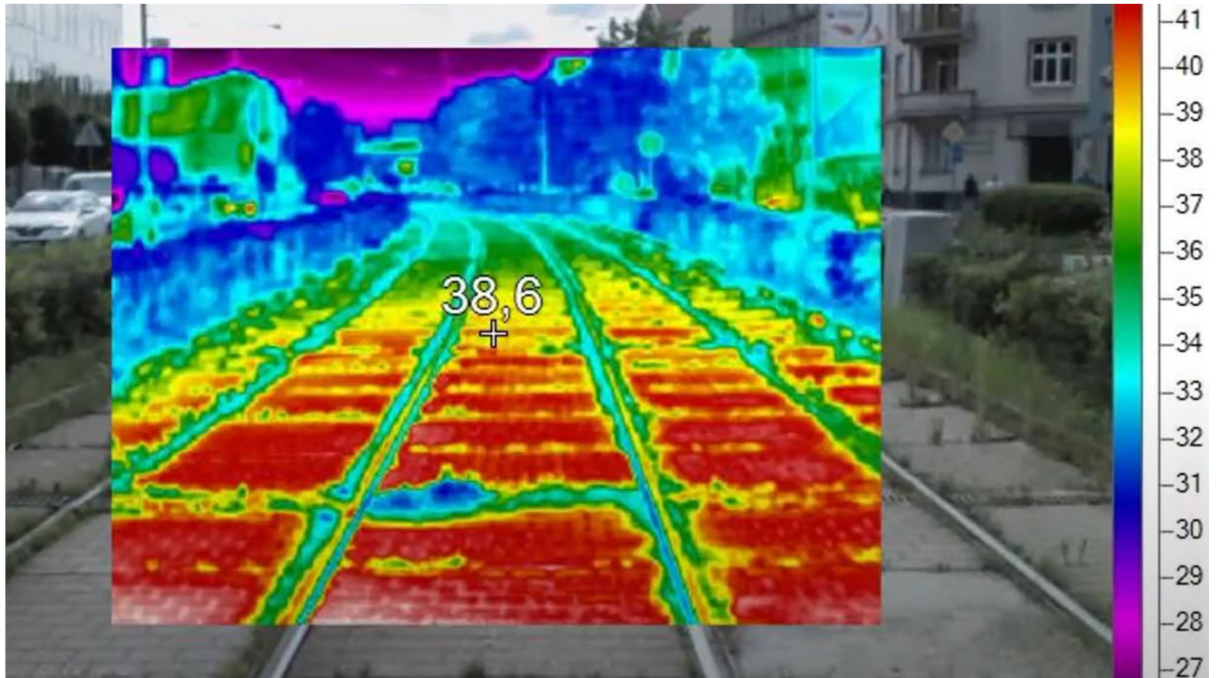
Stavba zelených tramvajových pásů (trati) se stala běžným řešením v mnoha evropských městech, ve snaze reagovat na zvyšování zelených ploch ve městech. Udržitelná městská mobilita spolu s podporou projektů zaměřených na zlepšení dopravní infrastruktury je jednou z aktuálních priorit pro evropské politiky (Sikorski et al. 2018). Zelené tramvajové pásy (viz Obrázek 12) přináší ekologické výhody, jako je zvýšená biodiverzita, ochrana proti hluku, ale i sociální a ekonomické výhody včetně zlepšené estetiky rázu měst, což má za následek lepší duševní zdraví a zvyšuje hodnotu majetku, které jsou ozeleněním dotčeny (Göbner et al. 2021).



Obrázek 12: Zatrávněné tramvajové pásy (ALSTAP s.r.o. 2021).

Požadavky na minimální hloubku vegetační vrstvy jsou 120–150 mm, v případě trávníku v kolejišti je navíc zrnitostní složení a obsah organických látek upraven oproti přirozenému prostředí (Svobodová & Cagaš 2013). Pokud jsou vybrány vhodné rostlinné druhy, bude estetická funkce vyšší a finanční výdaje na údržbu nižší. Tramvajové pásy, kde je mezi kolejový pevný kryt nahrazen vegetací, mohou sloužit jako další zelené plochy měst (Sikorski et al. 2018). V porovnání s pásy bez zeleného pokryvu (viz Obrázek 13) je vodní bilance zelených pásů blíže k přirozeným přírodním procesům. Vodní bilance se skládá z odtoku vody, akumulace vody a odpařování. Vegetační systémy v zelených pásích ukládají srážkovou vodu od počátku až do nasycení (Schreiter & Kappis 2013). Extenzivní vegetační systémy zadržují průměrně 50 % srážek, při čemž intenzivní vegetační systémy udrží mezi 70 % až 100 % (Schreiter & Kappis 2013). Zelené tramvajové pásy jsou schopny snížit odtok dešťové vody, zadržet dešťovou vodu v krajině, zachovat přirozenou vodní rovnováhu (Sitzenfrei et al. 2020). Akumulace vody při dobře zavedeném řešení může umožňovat zvládnutí suchých období, která

jsou také jedním z projevů extrémního počasí současnosti. Extrémy horkého počasí, jako jsou vlny veder nebo sucha, stejně jako intenzita a frekvence silných dešťů se v posledních desetiletích zvýšily a v důsledku klimatických změn se očekává jejich zesílení (Göbner et al. 2021).



Obrázek 13: Studie tepelného sálání neozeleněných tramvajových pásů z Nadace Partnerství (Maceková 2022).

porosty, které jsou odolné vůči suchu, minimalizuje spotřebu vody. Vhodné složení trávníku se zaměřením na zastoupení suchovzdornějších druhů trav ve směsi, může výrazně zvýšit odolnost trávníku vůči suchu, případně zvýšit schopnost trávníku přežít období letní dormance a na podzim se zase zazelenat. Významným faktorem určujícím odolnost k suchu je i ranost jednotlivých druhů trav. Ranější komponenty jsou schopny využít pro svůj rozvoj jarní vláhu a po nástupu období sucha již dosahují plného vývoje a lépe odolávají stresu vyvolanému suchem. V mírném podnebí se nejčastěji pěstují a dále se šlechtí především čtyři druhy trav- *Poa* sp. (lipnice), *Festuca* sp. (košťava), *Lolium* sp. (jílek) a *Agrostis* sp. (psineček). Dlouhodobému suchu lépe odolávají trávy s podzemními výběžky (rhizomy), které jsou schopny z podzemních oddenků regenerovat i po delších obdobích sucha. Mezi suchovzdornější rostliny patří např. *Vinca minor* a *Vinca major*, který jsou dobrým výběrem při krátkodobých suchách, stejně jako *Poa pratensis*, pokud jsou přijatelná období klidu. Rostliny, které částečně zůstávají zelené během sucha a jsou schopné středně rychlé obnovy po dodávce vody jsou *Lolium perenne*, *Festuca rubra*, subsp. *rubra* a *Festuca ovina*. Z hlediska obnovy kvality trávníku po dešti, nejrychleji reagují na srážky *Festuca rubra* subsp. *rubra*, *Koeleria glauca* a *Poa pratensis*. Vůči silnému a dlouhodobému suchu jsou nejodolnější *Sedum album*, *Liriope muscari* a *Pachysandra terminalis*.

Pochopení procesu adaptace na změnu klimatu je nezbytné k navržení rostlinných společenstev pro použití ve veřejné zeleni. Změna klimatu poskytuje nové příležitosti a v některých případech i nutnost využívat nepůvodní druhy rostlin ve spojení s původními druhy rostlin, a to nejen ke snížení vedlejších účinků změny klimatu, ale také ke zvýšení druhové rozmanitosti a estetické hodnoty. V souvislosti se změnou klimatu je klíčové, aby se veřejný prostor měst co nejvíce ozelenil. Následně, aby se o zeleň správně pečovalo a zadržovalo se v ní co nejvíce dešťové vody. Půdu, ve stále nejistějším klimatu, je potřeba chránit před vysycháním a zvýšit její schopnost živě absorbovat a ukládat vodu. K tomu nám mohou dost pomoci i vhodně založené travní plochy a správně zvolené travní druhy s ohledem na suchu, odolnost vůči sešlapání, nízké seči a podobně. Přiblížit intravilán co nejvíce přírodě by mělo být naší snahou. Pochopit, prozkoumat, analyzovat charakter trávníků z různých environmentálních, sociokulturních a designových perspektiv, navrhnout a otestovat různá místně přizpůsobená řešení založená na přírodě. Studie by měly identifikovat charakteristiky biologické rozmanitosti jako je složení a struktura trávníku a také zkoumat rostlinná společenstva podobná trávníkům. Najít alternativy, které mají vysokou biologickou rozmanitost, jsou odolné suchu, proti pošlapání, společensky přijatelné a nabízejí lepší celkovou odolnost vůči změně klimatu a jejím dopadům na městskou zelenou infrastrukturu.

Při propagaci nové generace trávníků založených na přírodě, by se takovéto nové alternativy trávníků měly výrazně lišit od běžných trávníků, pokud jde o jejich nákladovou efektivitu, biologickou rozmanitost, odolnost proti sešlapání a stabilitu v extrémních povětrnostních podmínkách. Zároveň by měly zůstat napojeny na sociální potřeby svých uživatelů, jako jsou určité kvality trávníku, vybavenost zeleně a různé rekreační aktivity. Takovéto nové trávníky, by měly sloužit jako hodnotné a odolné součásti městské zelené infrastruktury v rostoucích městech. Alternativní řešení založená na přírodě by však měla být striktně specifická pro město a zemi. Ovšem všechny zásahy ve veřejné zeleni je nutné dělat koncepčně a postupně budovat celý systém tzv. modrozelené infrastruktury. Pokud chceme příjemná a obyvatelná města i nadále, měla by velká města být v tomto vzoru pro ostatní

menší města a malým obcím v tomto i nápomocná. Do budoucna se bude muset počítat i s tím, že péče o zeleň bude probíhat s větším rozmyslem, než tomu bylo dosud a bude dražší i s ohledem na vodu, která je stále více vzácnější. Důležité je i to, aby péči o zeleň prováděly kvalitní a kvalifikované firmy. Jen při dobrém zakládání, vhodné odborné péči a pružném plánování, se dají ušetřit nemalé peníze.

Vize budoucích udržitelných trávníků, je založena na komplexním hybridním přístupu. Takové trávníky by si zachovaly svou podstatu- odolný povrch (ekvivalent trávníku), ale byly by tvořeny rostlinami (trávami, bylinnými druhy anebo půdokryvnými rostlinami), které vydrží rekreační tlak a delší sucho. Alternativy k trávníkům by se zároveň měly spoléhat na celou řadu udržitelných strategií plánování, návrhu a správy. Trávník jako fenomén bude mít s největší pravděpodobností v budoucích městských ekosystémech dlouhou životnost. Nastal čas pro vytvoření nového koncepčního rámce pro výzkum trávníků.

5 Seznam použité literatury

1. Agrostis Trávníky s.r.o. 2017. Štěrkové trávníky. Agrostis Trávníky s.r.o., Rousínov. Available from <https://www.agrostis.cz/odborne-clanky/sterkovy-travnik> (accessed 2023-03-29).
2. Agrostis Trávníky s.r.o. 2023. Travní směsi. Agrostis Trávníky s.r.o., Rousínov. Available from <https://www.agrostis.cz/katalog/travni-smesi> (accessed 2023-03-27).
3. Akimbekov N, Digel I, Abdieva G, Ualieva P, Tastambek K. 2021. Lignite biosolubilization and bioconversion by *Bacillus* sp: the collation of analytical data. *Biofuels* **12**:247-258.
4. Alizadeh B, Hitchmough J. 2019. A review of urban landscape adaptation to the challenge of climate change. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* **11**:178-194.
5. ALSTAP s.r.o. 2021. dopravni-infrastruktura. ALSTAP s.r.o., Praha. Available from <https://www.alstap.cz/reference-dopravni-infrastruktura/> (accessed 2023-03-28).
6. Alumai A. 2008. Urban lawn Management: Addressing the Entomological Agronomic, Economic and social Drivers. The Ohio State University.
7. Andry H, Yamamoto T, Irie T, Moritani S, Inoue M, Fujiyama H. 2009. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology* **373**:177-183.
8. Aram F, Higuera García E, Solgi E, Mansournia S. 2019. Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon* **5** (e01339) DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01339.
9. Atkinson J, McCarty L, Bridges W. 2012. Effect of Core Aerification Frequency, Area Impacted, and Topdressing Rate on Turf Quality and Soil Physical Properties. *Agronomy Journal* **104**:1710-1715.
10. Balany F, Ng A, Muttill N, Muthukumaran S, Wong M. 2020. Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy—A Review. *Water* **12**:3577.
11. Baldi D, Humphrey C, Kyndt J, Moore T. 2023. Native plant gardens support more microbial diversity and higher relative abundance of potentially beneficial taxa compared to adjacent turf grass lawns. *Urban Ecosystems*. DOI:10.1007/s11252-022-01325-5.
12. Barnes B, Kopecký D, Lukaszewski A, Baird J. 2014. Evaluation of Turf-type Interspecific Hybrids of Meadow Fescue with Perennial Ryegrass for Improved Stress Tolerance. *Crop Science* **54**:355-365.
13. Barton L, Colmer T. 2006. Irrigation and fertiliser strategies for minimising nitrogen leaching from turfgrass. *Agricultural Water Management* **80**:160-175.
14. Bar-Yosef B. 1999. Advances in Fertigation. Pages 1-77 in Sparks DL, editor *Advances in Agronomy* **65**. Academic Press, London.

15. Beniwal R, Langenfeld-Heyser R, Polle A. 2010. Ectomycorrhiza and hydrogel protect hybrid poplar from water deficit and unravel plastic responses of xylem anatomy. *Environmental and Experimental Botany* **69**:189-197.
16. Biouhel.cz. 2016. Biouhel je řešení. Biouhel. Cz, Zlín. Available from <https://biouhel.cz/wp-content/uploads/2018/02/Biouhel-je-Reseni-VS5.pdf> (accessed 2023-03-27).
17. Braun R, Bremer D, Ebdon J, Fry J, Patton A. 2022a. Review of cool-season turfgrass water use and requirements: I. Evapotranspiration and responses to deficit irrigation. *Crop Science* **62**:1661-1684.
18. Braun R, Bremer D, Ebdon J, Fry J, Patton A. 2022b. Review of cool-season turfgrass water use and requirements: II. Responses to drought stress. *Crop Science* **62**:1685-1701.
19. Braun R, Patton A, Watkins E, Koch P, Anderson N, Bonos S, Brillman L. 2020. Fine fescues: A review of the species, their improvement, production, establishment, and management. *Crop Science* **60**:1142-1187.
20. Breuillin-Sessoms F, Petrella D, Sandor D, Bauer S, Horgan B. 2021. Response of Retail Lawn Seed Products during Acute Drought and Recovery. *HortTechnology* **31**:448-457.
21. Cagaš B. 2011. Zakládání a ošetřování krajinných trávníků a travnatých ploch veřejné zeleně: certifikovaná metodika. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno.
22. Carpenter S, Caraco N, Correll D, Howarth R, Sharpley A, Smith V. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* **8**:559-568.
23. Carrow R, Duncan R. 2003. Improving Drought Resistance and Persistence in Turf-Type Tall Fescue. *Crop Science* **43**:978-984.
24. Carrow R. 1996a. Drought Avoidance Characteristics of Diverse Tall Fescue Cultivars. *Crop Science* **36**:371-377.
25. Carrow R. 1996b. Drought Resistance Aspects of Turfgrasses in the Southeast: Root-Shoot Responses. *Crop Science* **36**:687-694.
26. Carrow R. 1997. Turfgrass Response to Slow-Release Nitrogen Fertilizers. *Agronomy Journal* **89**:491-496.
27. Clouard M, Criquet S, Borschneck D, Ziarelli F, Marzaioli F, Balesdent J, Keller C. 2014. Impact of lignite on pedogenetic processes and microbial functions in Mediterranean soils. *Geoderma* **232**:257-269.
28. Colmer T, Barton L. 2017. A Review of Warm-Season Turfgrass Evapotranspiration, Responses to Deficit Irrigation, and Drought Resistance. *Crop Science* **57** DOI:10.2135/cropsci2016.10.0911.
29. Český trávník. 2021. golf. Český trávník s.r.o., Litvínovice 32 - Stecherův mlýn. Available from <https://www.ceskytravnik.cz/golf> (accessed 2023-03-27).

30. ČSN 83 9031. 2006. Technologie vegetačních úprav v krajině - Trávníky a jejich zakládání. Český normalizační institut, Praha.
31. DaCosta M, Huang B. 2006a. Deficit Irrigation Effects on Water Use Characteristics of Bentgrass Species. *Crop Science* **46**:1779-1786.
32. DaCosta M, Huang B. 2006b. Minimum Water Requirements for Creeping, Colonial, and Velvet Bentgrasses under Fairway Conditions. *Crop Science* **46**:81-89.
33. DaCosta M, Huang B. 2007. Drought Survival and Recuperative Ability of Bentgrass Species Associated with Changes in Abscisic Acid and Cytokinin Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **132**:60-66.
34. Demidchik V, Maathuis F. 2007. Physiological roles of nonselective cation channels in plants: from salt stress to signalling and development. *New Phytologist* **175**:387-404.
35. Ding Y, Liu Y, Liu S, Li Z, Tan X, Huang X, Zeng G, Zhou L, Zheng B. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **36**:1-18.
36. Domenghini J, Bremer D, Fry J, Davis G. 2013. Prolonged Drought and Recovery Responses of Kentucky Bluegrass and Ornamental Groundcovers. *HortScience* **48**:1209-1215.
37. Ekologický institut veronica. 2013. biouhel. ZO ČSOP Veronica, Brno. Available from <https://www.veronica.cz/biouhel> (accessed 2023-03-10).
38. Elgizawy E. 2016. Expectation Towards Green Lawns to Enhance Quality of Life at Workplaces. *Procedia Environmental Sciences* **34**:131-139.
39. Erickson J, Cisar J, Volin J, Snyder G. 2001. Comparing Nitrogen Runoff and Leaching between Newly Established St. Augustinegrass Turf and an Alternative Residential Landscape. *Crop Science* **41**:1889-1895.
40. Ervin E, Koski A. 1998. Drought Avoidance Aspects and Crop Coefficients of Kentucky Bluegrass and Tall Fescue Turfs in the Semiarid West. *Crop Science* **38**:788-795.
41. Evropský institut pro zadržování vody v krajině z.ú. 2017. Zadržování vody v krajině - cesta k vodnímu komfortu. Evropský institut pro zadržování vody v krajině z.ú., Brno.
42. Finkelstein R, Reeves W, Ariizumi T, Steber C. 2008. Molecular Aspects of Seed Dormancy. *Annual Review of Plant Biology* **59**:387-415.
43. Gill S, Tuteja N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* **48**:909-930.
44. Gillespie L, Volaire F. 2017. Are winter and summer dormancy symmetrical seasonal adaptive strategies? The case of temperate herbaceous perennials. *Annals of Botany* **119**:311-323.
45. Głąb T, Szewczyk W, Gondek K, Mierzwa-Hersztek M, Palmowska J, Nęcka K. 2020. Optimization of turfgrass fertigation rate and frequency. *Agricultural Water Management* **234** DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106107.

46. Goldsby A, Bremer D, Fry J, Keeley S. 2015. Response and Recovery Characteristics of Kentucky Bluegrass Cultivars to Extended Drought. *Crop, Forage & Turfgrass Management* **1**:1-8.
47. Gómez-Armayones C, Kvalbein A, Aamlid T, Knox J. 2018. Assessing evidence on the agronomic and environmental impacts of turfgrass irrigation management. *Journal of Agronomy and Crop Science* **204**:333-346.
48. Gößner D, Mohri M, Krespach J. 2021. Evapotranspiration Measurements and Assessment of Driving Factors: A Comparison of Different Green Roof Systems during Summer in Germany. *Land* **10**:1334.
49. Grime J. 2006. *Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties*. Wiley, USA.
50. Groenveld T, Kohn Y, Gross A, Lazarovitch N. 2019. Optimization of nitrogen use efficiency by means of fertigation management in an integrated aquaculture-agriculture system. *Journal of Cleaner Production* **212**:401-408.
51. Gross C, Angle J, Welterlen M. 1990. Nutrient and Sediment Losses from Turfgrass. *Journal of Environmental Quality* **19**:663-668.
52. Gunasekera D, Berkowitz G. 1993. Use of Transgenic Plants with Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase Antisense DNA to Evaluate the Rate Limitation of Photosynthesis under Water Stress. *Plant Physiology* **103**:629-635.
53. Haase D, Nuissl H. 2007. Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy. *Landscape and Urban Planning* **80**:1-13.
54. Hallmann H, Forner J. 2004. *Historische Bauforschung und Materialverwendung im Garten- und Landschaftsbau: Wegebau und Wasseranlagen*. W. Ernst u. Sohn, Berlin.
55. Han X, Burton OR, Sternudd C, Li D. 2013. Public Attitudes about Urban Lawns: Social Opportunities Provided by Urban Lawns in Lund, Sweden. Pages- 1046-1054 in Xiaogang S, editor. *Proceedings of the 2013 International Academic Workshop on Social Science (IAW-SC-13)*. Atlantis Press, Paris, France.
56. Harris P, Zuberer D. 1993. Subterranean Clover Enhances Production of 'Coastal' Bermudagrass in the Revegetation of Lignite Mine Spoil. *Agronomy Journal* **85**:236-241.
57. Hedblom M, Lindberg F, Vogel E, Wissman J, Ahrné K. 2017. Estimating urban lawn cover in space and time: Case studies in three Swedish cities. *Urban Ecosystems* **20**:1109-1119.
58. Heidger C, Bischoff G, Borgwardt S. 2000. *Empfehlungen für Bau und Pflege von Flächen aus Schotterrasen*. (FGSV). FLL, Eigendruck, Bonn.
59. Hessayon D. 2002. *Trávníky v zahradě*. Beta-Dobrovský, Praha.
60. Hill D. 2021. Compost utilization in turfgrass and lawn management. Pages 85-100 in Ozores-Hampton M, editor. *Compost Utilization in Production of Horticultural Crops*. CRC Press, Oxon.

61. Hitchmough J. 2004. Naturalistic herbaceous vegetation for urban landscapes. Pages 172-245 In *The dynamic landscape: design, ecology and management of naturalistic urban planting*. Taylor & Francis, England.
62. Hogue T, Pincetl S. 2015. Are you watering your lawn. *Science* **348**:1319-1320.
63. Hong M, Bremer D, Keeley S. 2021. Minimum water requirements of cool-season turfgrasses for survival and recovery after prolonged drought. *Crop Science* **61**:2963-2977.
64. Hong M, Bremer D, van der Merwe D. 2019. Using Small Unmanned Aircraft Systems for Early Detection of Drought Stress in Turfgrass. *Crop Science* **59**:2829-2844.
65. Hoyle H, Jorgensen A, Warren P, Dunnett N, Evans K. 2017. “Not in their front yard” The opportunities and challenges of introducing perennial urban meadows: A local authority stakeholder perspective. *Urban Forestry & Urban Greening* **25**:139-149.
66. Hrabě F. 2003. *Trávy a travníky- co o nich ještě nevíte*. Petr Baštan, Olomouc.
67. Hrabě F. 2009. *Travníky pro zahradu, krajinu a sport*. Petr Baštan, Olomouc.
68. Huang B, Fry J. 1998. Root Anatomical, Physiological, and Morphological Responses to Drought Stress for Tall Fescue Cultivars. *Crop Science* **38**:1017-1022.
69. Huang B, Liu X, Fry J. 1998. Shoot Physiological Responses of Two Bentgrass Cultivars to High Temperature and Poor Soil Aeration. *Crop Science* **38**:1219-1224.
70. Huang B. 2000. Photosynthesis, respiration, and carbon allocation of two cool-season perennial grasses in response to surface soil drying. *Plant and Soil* **227**:17-26.
71. Chai Q, Jin F, Merewitz E, Huang B. 2010. Growth and Physiological Traits Associated with Drought Survival and Post-drought Recovery in Perennial Turfgrass Species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **135**:125-133.
72. Chang B, Wherley B, Aitkenhead-Peterson J, Ojeda N, Fontanier C, Dwyer P. 2020. Effect of Wetting Agent on Nutrient and Water Retention and Runoff from Simulated Urban Lawns. *HortScience* **55**:1005-1013.
73. Chen H, Du X, Lai M, Nazhafati M, Li C, Qi W. 2021. Biochar Improves Sustainability of Green Roofs via Regulate of Soil Microbial Communities. *Agriculture* **11**:620.
74. Chen H, Yang T, Xia Q, Bowman D, Williams D, Walker J, Shi W. 2018. The extent and pathways of nitrogen loss in turfgrass systems: Age impacts. *Science of The Total Environment* **637**:746-757.
75. Cheng C, Lehmann J, Engelhard M. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **72**:1598-1610.
76. Chollet S, Brabant C, Tessier S, Jung V. 2018. From urban lawns to urban meadows: Reduction of mowing frequency increases plant taxonomic, functional and phylogenetic diversity. *Landscape and Urban Planning* **180**:121-124.

77. Ignatieva M, Eriksson F, Eriksson T, Berg P, Hedblom M. 2017. The lawn as a social and cultural phenomenon in Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening* **21**:213-223.
78. Ignatieva M, Haase D, Dushkova D, Haase A. 2020. Lawns in Cities: From a Globalised Urban Green Space Phenomenon to Sustainable Nature-Based Solutions. *Land* **9**:73.
79. Ignatieva M, Hedblom M. 2018. An alternative urban green carpet. *Science* **362**:148-149.
80. Ignatieva M. 2017. *Manual: Lawn Alternatives in Sweden from Theory to Practice*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala SWEDEN.
81. Jarosiewicz A, Tomaszewska M. 2003. Controlled-Release NPK Fertilizer Encapsulated by Polymeric Membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**:413-417.
82. Jespersen D, Ma X, Bonos S, Belanger F, Raymer P, Huang B. 2018. Association of SSR and Candidate Gene Markers with Genetic Variations in Summer Heat and Drought Performance for Creeping Bentgrass. *Crop Science* **58**:2644-2656.
83. Ji M, Wang X, Usman M, Liu F, Dan Y, Zhou L, Campanaro S, Luo G, Sang W. 2022. Effects of different feedstocks-based biochar on soil remediation: A review. *Environmental Pollution* **294** DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118655.
84. Jiang Y, Huang B. 2000. Effects of Drought or Heat Stress Alone and in Combination on Kentucky Bluegrass. *Crop Science* **40**:1358-1362.
85. Johnson G, Qian Y, Davis J. 2009. Topdressing Kentucky Bluegrass with Compost Increases Soil Water Content and Improves Turf Quality During Drought. *Compost Science & Utilization* **17**:95-102.
86. Julkunen-Tiitto R, Tahvanainen J, Silvola J. 1993. Increased CO₂ and nutrient status changes affect phytomass and the production of plant defensive secondary chemicals in *Salix myrsinifolia* (Salisb.). *Oecologia* **95**:495-498.
87. Kabisch N, Qureshi S, Haase D. 2015. Human–environment interactions in urban green spaces — A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review* **50**:25-34.
88. Kanapeckas J, Lemežiene N, Stukonis V, Tarakanovas P. 2008. Drought tolerance of turfgrass genetic resources. *Biologija* **54**:121–124.
89. Karcher D, Richardson M, Hignight K, Rush D. 2008. Drought Tolerance of Tall Fescue Populations Selected for High Root/Shoot Ratios and Summer Survival. *Crop Science* **48**:771-777.
90. Keep T et al. 2021. To grow or survive: Which are the strategies of a perennial grass to face severe seasonal stress. *Functional Ecology* **35**:1145-1158.
91. Kiers A, Krimmel B, Larsen-Bircher C, Hayes K, Zemenick A, Michaels J. 2022. Different Jargon, Same Goals: Collaborations between Landscape Architects and Ecologists to Maximize Biodiversity in Urban Lawn Conversions. *Land* **11** DOI: 10.3390/land11101665.

92. Kistenkas F, Borgström S. 2014. The Compatibility of the Habitats Directive with the Novel EU Green Infrastructure Policy. *European Energy and Environmental Law Review* **23**:36-44.
93. Kneebone W, Kopec D, Mancino C. 1992. Water Requirements and Irrigation. Pages 441-472 in Waddington DV, Carrow RN, Shearman RC, editors. *Turfgrass*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
94. Knot P, Hrabe F, Hejduk S, Skladanka J, Kvasnovsky M, Hodulikova L, Caslavova I, Horky P. 2017. The impacts of different management practices on botanical composition, quality, colour and growth of urban lawns. *Urban Forestry & Urban Greening* **26**:178-183.
95. Köhler M. 2006. Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin. University of Applied Sciences Neubrandenburg, Neubrandenburg.
96. Kopp K, Jiang Y. 2013. Turfgrass Water Use and Physiology. Pages 319-345 in Stier J, Horgan B, Bonos S, editors. *Turfgrass: Biology, Use, and Management*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
97. Kováčik P, Žofajová A, Šimanský V, Halászová K. 2016. Spring Barley Yield Parameters after Lignite, Sodium Humate and Nitrogen Utilization. *Agriculture (Polnohospodárstvo)* **62**:80-89.
98. Lang G, Early J, Martin G, Darnell R. 1987. Endo-, Para-, and Ecodormancy: Physiological Terminology and Classification for Dormancy Research. *HortScience* **22**:371-377.
99. Larson J, Kesheimer A, Potter D. 2014. Pollinator assemblages on dandelions and white clover in urban and suburban lawns. *Journal of Insect Conservation* **18**:863-873.
100. Laus M, Soccio M, Trono D, Liberatore M, Pastore D. 2010. Activation of the plant mitochondrial potassium channel by free fatty acids and acyl-CoA esters: a possible defence mechanism in the response to hyperosmotic stress. *Journal of Experimental Botany* **62**:141-154.
101. Law Q, Patton A. 2017. Biogeochemical cycling of carbon and nitrogen in cool-season turfgrass systems. *Urban Forestry & Urban Greening* **26**:158-162.
102. Le Bot J, Adamowicz S, Robin P. 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* **74**:47-82.
103. Lehmann J, Joseph S. 2015. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Taylor & Francis, London and New York.
104. Leinauer B, Devitt D. 2013. Irrigation Science and Technology. Pages 1075-1131 in Stier J, Horgan B, Bonos S, editors. *Turfgrass: Biology, Use, and Management*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

105. Lewis J, Bremer D, Keeley S, Fry J. 2012. Wilt-Based Irrigation in Kentucky Bluegrass: Effects on Visual Quality and Irrigation Amounts Among Cultivars. *Crop Science* **52**:1881-1890.
106. Li P, Wang Z. 2021. Environmental co-benefits of urban greening for mitigating heat and carbon emissions. *Journal of Environmental Management* **293** DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112963.
107. Li S, Wang S, Chen Y, Zhu Q, Lan L, Bu H, Hu T, Jiang G. 2023. Biodegradable, anti-freezing and self-healable hydrogel mulch film for weed control. *Chemical Engineering Journal* **462** DOI: 10.1016/j.cej.2023.142211.
108. Litvak E, Pataki D. 2016. Evapotranspiration of urban lawns in a semi-arid environment: An in situ evaluation of microclimatic conditions and watering recommendations. *Journal of Arid Environments* **134**:87-96.
109. Liu S, Jiang Y. 2010. Identification of differentially expressed genes under drought stress in perennial ryegrass. *Physiologia Plantarum* **139**:375-387.
110. Liu Y, Wang J, Chen H, Cheng D. 2022. Environmentally friendly hydrogel: A review of classification, preparation and application in agriculture. *Science of The Total Environment* **846** DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157303.
111. Logsdon S, Sauer P. 2016. Nutrient Leaching When Compost Is Part of Plant Growth Media. *Compost Science & Utilization* **24**:238-245.
112. Lubzens E, Cerda J, Clark M. 2010. *Dormancy and Resistance in Harsh Environments*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
113. Maceková M. 2022. Aby město nepálilo. LIFE Tree Check. Available from <https://www.lifetreecheck.eu/cs/Online-learning> (accessed 2023-03-28).
114. Madramootoo C, Jain A, Oliva C, Wang Y, Abbasi N. 2023. Growth and yield of tomato on soil amended with waste paper based hydrogels. *Scientia Horticulturae* **310** DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111752.
115. Marín J, Parra L, Rocher J, Sendra S, Lloret J, Mauri P, Masaguer A. 2018. Urban Lawn Monitoring in Smart City Environments. *Journal of Sensors* **2018**:1-16.
116. Martin del Campo M, Esteller M, Morell I, Expósito J, Bandenay G, Díaz-Delgado C. 2019. A lysimeter study under field conditions of nitrogen and phosphorus leaching in a turf grass crop amended with peat and hydrogel. *Science of The Total Environment* **648**:530-541.
117. Martí-Roura M, Casals P, Romanyà J. 2011. Temporal changes in soil organic C under Mediterranean shrublands and grasslands: impact of fire and drought. *Plant and Soil* **338**:289-300.
118. McCoy E, McCoy K. 2009. Simulation of putting-green soil water dynamics: Implications for turfgrass water use. *Agricultural Water Management* **96**:405-414.
119. McCoy E. 1998. Sand and Organic Amendment Influences on Soil Physical Properties Related to Turf Establishment. *Agronomy Journal* **90**:411-419.

120. Mell I, Whitten M. 2021. Access to Nature in a Post Covid-19 World: Opportunities for Green Infrastructure Financing, Distribution and Equitability in Urban Planning. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18**:1527.
121. Merewitz E, Meyer W, Bonos S, Huang B. 2010. Drought Stress Responses and Recovery of Texas × Kentucky Hybrids and Kentucky Bluegrass Genotypes in Temperate Climate Conditions. *Agronomy Journal* **102**:258-268.
122. Milesi C, Running S, Elvidge C, Dietz J, Tuttle B, Nemani R. 2005. Mapping and Modeling the Biogeochemical Cycling of Turf Grasses in the United States. *Environmental Management* **36**:426-438.
123. Monteiro J. 2017. Ecosystem services from turfgrass landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening* **26**:151-157.
124. Monterusso M, Rowe D, Rugh C. 2005. Establishment and Persistence of *Sedum* spp. and Native Taxa for Green Roof Applications. *HortScience* **40**:391-396.
125. Montesano F, Parente A, Santamaria P, Sannino A, Serio F. 2015. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **4**:451-458.
126. Morgan W, Letey J, Stolzy L. 1965. Turfgrass Renovation by Deep Aerification 1. *Agronomy Journal* **57**:494-496.
127. Munier S, Carrer D, Planque C, Camacho F, Albergel C, Calvet J. 2018. Satellite Leaf Area Index: Global Scale Analysis of the Tendencies Per Vegetation Type Over the Last 17 Years. *Remote Sensing* **10**:424.
128. Murray J, Juska F. 1977. Effect of Management Practices on Thatch Accumulation, Turf Quality, and Leaf Spot Damage in Common Kentucky Bluegrass 1. *Agronomy Journal* **69**:365-369.
129. Neina D. 2019. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science* **2019**:1-9.
130. Newell M, Hayes R, Virgona J, Larkin P. 2015. Summer dormancy in *Elymus scaber* and its hybridity with wheat. *Euphytica* **204**:535-556.
131. Nie Z, Norton M. 2009. Stress Tolerance and Persistence of Perennial Grasses: The Role of the Summer Dormancy Trait in Temperate Australia. *Crop Science* **49**:2405-2411.
132. Niinemets Ü. 2010. Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: Past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and Management* **260**:1623-1639.
133. Norton B et al. 2019. Urban meadows as an alternative to short mown grassland: effects of composition and height on biodiversity. *Ecological Applications* **29** DOI: 10.1002/eap.1946.
134. Norton B, Coutts A, Livesley S, Harris R, Hunter A, Williams N. 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* **134**:127-138.

135. Nosalewicz A, Siecińska J, Kondracka K, Nosalewicz M. 2018. The functioning of *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne* under drought is improved to a different extent by the previous exposure to water deficit. *Environmental and Experimental Botany* **156**:271-278.
136. Novotný M, Marković M, Raček J, Šipka M, Chorazy T, Tošić I, Hlavínek P. 2023. The use of biochar made from biomass and biosolids as a substrate for green infrastructure: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* **32** DOI: 10.1016/j.scp.2023.100999.
137. Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, Coffman R, Doshi H, Dunnett N, Gaffin S, Köhler M, Liu K, Rowe B. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* **57**:823-833.
138. Ok Y, Uchimiya S, Chang S, Bolan N. 2015. *Biochar*. CRC Press.
139. Ondřej J, Opatrná M. 1997. *Travníky a okrasné trávy*. BRIO, Praha.
140. Ondřej J. 1997. *Travník - základ zahrady*. Grada, Praha.
141. Pavelka M. 2022. Aby město nepálilo. LIFE Tree Check. Available from <https://www.lifetreecheck.eu/cs/Online-learning> (accessed 2023-03-28).
142. Petreje M, Sněhota M, Chorazy T, Novotný M, Rybová B, Hečková P. 2023. Performance study of an innovative concept of hybrid constructed wetland-extensive green roof with growing media amended with recycled materials. *Journal of Environmental Management* **331** DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.117151.
143. Petrovic A. 1990. The Fate of Nitrogenous Fertilizers Applied to Turfgrass. *Journal of Environmental Quality* **19**:1-14.
144. Pilušová B, Kuřková T. 2015. Soudobé trendy v zakládání a údržbě travobylinných společenstev ve městech. ZO ČSOP Veronica, Brno. Available from <http://www.casopisveronica.cz/clanek.php?id=1245> (accessed 2023-02-10).
145. Pompeiano A, Giannini V, Gaetani M, Vita F, Guglielminetti L, Bonari E, Volterrani M. 2014. Response of warm-season grasses to N fertilization and salinity. *Scientia Horticulturae* **177**:92-98.
146. Przybysz A, Popek R, Stankiewicz-Kosyl M, Zhu Ch.Y, Małecka-Przybysz M, Maulidyawati T, Mikowska K, Deluga D, Grizuk K, Sokalski-Wieczorek J, Wolszczak K, Wińska-Krysiak M. 2021. Where trees cannot grow – Particulate matter accumulation by urban meadows. *Science of The Total Environment* **785** DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147310.
147. Pyšková J. 2020. Co lidé v parcích nechtějí. *ekolist*, Praha. Available from <https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/co-lide-v-parcich-nechteji-kere-a-zachodyrika-krajinarska-architekta-jana-pyskova> (accessed 2023-03-01).
148. Quaranta E, Dorati C, Pistocchi A. 2021. Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios. *Scientific Reports* **11** DOI: 10.1038/s41598-021-88141-7.

149. Raciti S, Groffman P, Fahey T. 2008. Nitrogen retention in urban lawns and forests. *Ecological Applications* **18**:1615-1626.
150. Ramer H, Nelson K, Spivak M, Watkins E, Wolfen J, Pulscher M. 2019. Exploring park visitor perceptions of ‘flowering bee lawns’ in neighborhood parks in Minneapolis, MN, US. *Landscape and Urban Planning* **189**:117-128.
151. Ramer H, Nelson K. 2020. Applying ‘action situation’ concepts to public land managers’ perceptions of flowering bee lawns in urban parks. *Urban Forestry & Urban Greening* **53** DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126711.
152. Rendeková A, Mičieta K, Hrabovský M, Zahradníková E, Michalová M, Miškovic J, Eliašová M, Ballová D. 2022. Comparison of the differences in the composition of ruderal flora between conventional tram tracks and managed green tram tracks in the urban ecosystem of the city of Bratislava. *Hacquetia* **21**:73-88.
153. Rohde A, Bhalerao R. 2007. Plant dormancy in the perennial context. *Trends in Plant Science* **12**:217-223.
154. Rocha M, Faria L, Casaroli D, Van Lier Q. 2010. Avaliação de modelo de extração da água do solo por sistemas radiculares divididos entre camadas de solo com propriedades hidráulicas distintas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **34**:1017-1028.
155. Rychnovská M, Balátová E, Úlehlová B, Pelikán J. 1985. *Ekologie lučních porostů*. Academia, Praha.
156. Salaš P. 2012. Opatření vedoucí k zamezení biologické degradace půd a zvýšení biodiverzity v suchých oblastech ČR: certifikovaná metodika. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
157. Sharma M, Herne D, Byrne J, Kin P. 1996. Nutrient Discharge Beneath Urban Lawns To A Sandy Coastal Aquifer, Perth, Western Australia. *Hydrogeology Journal* **4**:103-117.
158. Shihan A, Barre P, Copani V, Kallida R, Østrem L, Testa G, Norton M, Sampoux J, Volaire F. 2022. Induction and potential role of summer dormancy to enhance persistence of perennial grasses under warmer climates. *Journal of Ecology* **110**:1283-1295.
159. Schreiter H, Kappis C. 2013. *Effect and Function of Green Tracks*. Network Management.
160. Sidhu S, Huang Q, Carrow R, Jespersen D, Liu J, Raymer P. 2022. A review of a novel enzyme system for the management of thatch and soil water repellency in turfgrass. *International Turfgrass Society Research Journal* **14**:450-461.
161. Sikorski P, Wińska-Krysiak M, Chormański J, Krauze K, Kubacka K, Sikorska D. 2018. Low-maintenance green tram tracks as a socially acceptable solution to greening a city. *Urban Forestry & Urban Greening* **35**:148-164.
162. Singh B, Camps-Arbestain M, Lehmann J. 2017. *Biochar: A Guide to Analytical Methods*. Taylor & Francis Inc, United States.

163. Sitzenfrei R, Kleidorfer M, Bach P, Bacchin T. 2020. Green Infrastructures for Urban Water System: Balance between Cities and Nature. *Water* **12**:1456.
164. Skládanka J, Veselý P. 2007. Travní porost jako krajínovotvorný prvek. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.
165. Skládanka J. 2008. Význam travních porostů: Trávníkářská ročenka. Petr Baštan, Olomouc.
166. Snowden D. 2017. Význam aerifikace pro hřiště: Sborník IOG ČR. Available from <http://iog.cz/wp-content/uploads/Aerifikace-Sbornik-2017.pdf> (accessed 2023-03-20).
167. Souri M, Hatamian M. 2018. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition* **42**:67-78.
168. Southon G, Jorgensen A, Dunnett N, Hoyle H, Evans K. 2017. Biodiverse perennial meadows have aesthetic value and increase residents' perceptions of site quality in urban green-space. *Landscape and Urban Planning* **158**:105-118.
169. Straková M, Straka J, Janál J, Křesadlová L. 2015. Trávníky a květnaté louky v památkách zahradního umění. Národní památkový ústav ve spolupráci s Metodickým centrem zahradní kultury v Kroměříži, Praha.
170. Straková M, Straka J. 2007. Zásady správné závlahy trávníku. Agrostis Trávníky s.r.o., Rousínov.
171. Straková M, Straka J. 2008. Využití druhově pestrých směsí ve veřejné zeleni: Trávníkářská ročenka. Petr Baštan, Olomouc.
172. Straková M. 2012. Netradiční řešení travnatých ploch v zahradách. For Garden, Praha.
173. Straková M. 2013. Trávníky pořád dokola a pořád špatně aneb opakování je matka moudrosti. *Inspirace*:12. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno.
174. Straková M. 2014. Význam, terminologie a rozdělení druhově pestrých směsí: *Inspirace*:12-13. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno.
175. Straková M. 2018. Trávníky aneb co ukázalo letošní suché léto: *Inspirace*. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno.
176. Straková M. 2019. Klasické trávníky ve městech chřadnou. *ekolist*, Praha. Available from <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/klasicke-travniky-ve-mestech-chradnou.nahradit-je-mohou-louky> (accessed 2023-03-01).
177. Svobodová M, Cagaš B. 2013. Trávník: zakládání, ošetřování a údržba. Grada, Praha.
178. Svobodová M. 2004. Trávník. Grada, Praha.
179. Šikula J, Větvička V. 2016. Trávy: traviny a trávníky v ilustracích Vojtěcha Štolfy a Zdenky Krejčové. Aventinum, Praha.
180. Tedersoo L, Bahram M. 2019. Mycorrhizal types differ in ecophysiology and alter plant nutrition and soil processes. *Biological Reviews* **94**:1857-1880.

181. The University of Melbourne. 2019. A Woody Meadow in the Heart of the City. The University of Melbourne, Melbourne. Available from <https://pursuit.unimelb.edu.au/articles/a-woody-meadow-in-the-heart-of-the-city> (accessed 2023-03-19).
182. Thienelt T, Anderson D. 2021. Estimates of energy partitioning, evapotranspiration, and net ecosystem exchange of CO₂ for an urban lawn and a tallgrass prairie in the Denver metropolitan area under contrasting conditions. *Urban Ecosystems* **24**:1201-1220.
183. Thompson G, Kao-Kniffin J. 2017. Applying Biodiversity and Ecosystem Function Theory to Turfgrass Management. *Crop Science* **57** DOI: 10.2135/cropsci2016.05.0433.
184. Trigger D, Mulcock J. 2005. Native vs exotic: cultural discourses about flora, fauna and belonging in Australia. Pages 1301-1310 in *Sustainable Development and Planning II*.
185. Turgeon A, Fidanza M. 2017. Perspective on the History of Turf Cultivation. *Itsrsj* **13** DOI: 10.2134/itsrsj2016.05.0394.
186. Tuvikene T, Sgibnev W, Neugebauer C. 2019. *Post-Socialist Urban Infrastructures*. Routledge, London.
187. TZB-info. 2014. Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. Topinfo s.r.o, Praha. Available from <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/10880-jak-na-zelenou-strechu> (accessed 2023-03-10).
188. Úroda 2011. Vědecká příloha č.10. Profi press s.r.o., Praha 2.
189. Vahmani P, Ban-Weiss G. 2016. Climatic consequences of adopting drought-tolerant vegetation over Los Angeles as a response to California drought. *Geophysical Research Letters* **43**:8240-8249.
190. Vegis A. 1964. Dormancy in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology* **15**:185-224.
191. Volaire F, Barkaoui K, Norton M. 2014. Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: Adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy* **52**:81-89.
192. Volaire F, Norton M, Norton G, Lelièvre F. 2005. Seasonal Patterns of Growth, Dehydrins and Water-soluble Carbohydrates in Genotypes of *Dactylis glomerata* Varying in Summer Dormancy. *Annals of Botany* **95**:981-990.
193. Volaire F, Norton M. 2006. Summer Dormancy in Perennial Temperate Grasses. *Annals of Botany* **98**:927-933.
194. Wang Z, Zhao X, Yang J, Song J. 2016. Cooling and energy saving potentials of shade trees and urban lawns in a desert city. *Applied Energy* **161**:437-444.
195. Watson C, Carignan-Guillemette L, Turcotte C, Maire V, Proulx R, Ming Lee T. 2019. Ecological and economic benefits of low-intensity urban lawn management. *Journal of Applied Ecology* **57**:436-446.

196. Winkler J, Malovcová M, Adamcová D, Ogrodnik P, Pasternak G, Zumr D, Kosmala M, Koda E, Vaverková M. 2021. Significance of Urban Vegetation on Lawns Regarding the Risk of Fire. *Sustainability* **13**:11027.
197. Yang F, Ignatieva M, Larsson A, Zhang S, Ni N. 2019. Public perceptions and preferences regarding lawns and their alternatives in China: A case study of Xi'an. *Urban Forestry & Urban Greening* **46** DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126478.
198. Zahrady s nápady. 2022. Trávníky. ZENAIS BOHEMIA, spol. s r. o., Ostrava-Stará Bělá. Available from <https://www.zahradysnapady.cz/travniky/> (accessed 2023-03-27).
199. Zákon pro lidi. 2021. zákon č. 299/2021 Sb. v částce č. 131. ČR, Praha. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/monitor/6615097.htm> (accessed 2023-03-27).
200. SZUZ. 2013. Zelené střechy: vegetace. Svaz zakládání a údržby zeleně, z.s., Brno. Available from <https://www.zelenestrechy.info/vegetace> (accessed 2023-03-28).
201. Zhang M, Nyborg M, Malhi S. 1998. Comparison of Controlled-release Nitrogen Fertilizers on Turfgrass in a Moderate Temperature Area. *HortScience* **33**:1203-1206.
202. Zohuriaan-Mehr M, Omidian H, Doroudiani S, Kabiri K. 2010. Advances in non-hygienic applications of superabsorbent hydrogel materials. *Journal of Materials Science* **45**:5711-5735.