
Karjatamine mulla tervise, ökosüsteemi funktsioonide ja ökosüsteemi teenuste taastamiseks

Allikas: Teague R. and Kreuter U. (2020). Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services.

Frontiers in Sustainable Food Systems 4:534187. doi: 10.3389/fsufs.2020.534187

Mäletsejalisi kariloomi on süüdistatud kahjuliku mõju tekitamises ülemaailmsele keskkonnale ja inimeste heaolule. Sobiva majandamise korral võivad kariloomad siiski mängida olulist rolli jõupingutustes, millega püütakse parandada väärast majandamisest ja hooletusest põhjustatud inimtekkelist keskkonnakahju. Kogu maailmas sõltub kariloomade pidamisest ligi miljard karjamaade ökosüsteemides elavat inimest. Karjamaade pikaajalise jätkusuutlikkuse ja ökoloogilise vastupidavuse tagamiseks on ülemaailmselt hädasti vaja muuta praegused kahjulikud tööstuslikud mineraalse sisendiga põllumajandustavad ressursisäästlikeks tavadeks, mis parandavad ökosüsteemi toimimist.

Olemas on tõendid selle kohta, et põllumajandustootjad ja karjakasvatajad, kes rakendavad taastava põllumajanduse meetodeid, loovad kulutõhusalt jätkusuutlikke ja vastupidavaid põllumajandusökosüsteeme. Karjatamisressursside tõhustatud majandamisel saab kariloomade abil hoida mulla püsivamalt taimede ja taimejäänustega kaetuna, mis vähendab tõhusalt mulla erosiooni ja suurendab biofüüsikalist süsiniku netoakumuleerimist. Sööda ja mäletsejaliste kaasamine taastava põllumajanduse süsteemidesse võib samuti suurendada mulla orgaanilise süsiniku sisaldust ja parandada mulla ökoloogilist funktsiooni ning vähendada tootmiskulusid, sest puuduvad iga-aastane mullaharimine ning mineraalsete väetiste ja pestitsiidi kasutamine. Ökosüsteemiteenused, mida taastava põllumajanduse abil parandatakse, hõlmavad mulla stabiliseerimist ja mullateket, vee liikumist mullas, süsiniku sidumist, toitainete ringlust ja

kättesaadavust, elurikkust ja eluslooduse elupaiku, mis kõik koos suurendavad ökosüsteemide ja majanduse stabiilsust ja vastupanuvõimet.

Teadlased, kes on teinud koostööd põllumajandustootjate ja karjakasvatajatega üle maailma, on dokumenteerinud, kuidas on saavutatud häid keskkonnavalaseid, sotsiaalseid ja majanduslikke tulemusi. Paljud neist tootjatest on kasutanud rohukasvu kiirusest lähtuvat paindlikku portsjonkarjatamist (*ingl k Adaptive Multi-Paddock, AMP*) kui väga tõhusat lähenemisviisi oma karjamaade säästvaks majandamiseks. Selle lähenemisviisi puhul kasutatakse lühiajalist karjatamist, millele järgneb pikk karjatamisjärgne taimede taastumisperiood ning see nõuab loomade arvu kohandamist vastavalt keskkonna- ja majandustingimustele. Paindlikku portsjonkarjatamist kasutades on saavutatud paremaid tulemusi nii ökosüsteemi kui ka kasumlikkuse vaatest.

SISSEJUHATUS

Rohumaade ökosüsteemides elavate inimeste elatusvahendeid toetavate oluliste ökosüsteemi teenuste jätkuvaks osutamiseks on oluline säilitada või suurendada rohumaade tootlikkust ja vastupidavust (Frank et al., 1998; Janzen, 2010). Selliste ökosüsteemi teenuste hulka kuuluvad stabiilse ja viljaka mulla säilitamine, puhta vee olemasolu, mulla ja biosfääri hüdroloogiliste tsüklite toimimine ning taimede, loomade ja muude organismide olemasolu, mis toetavad nii ökosüsteemi toimimist kui ka inimeste elatusvahendeid ja heaolu. Põllumajanduslikud ökosüsteemid, mis hõlmavad karjatamist, on tootlikumad, stabiilsemad ja vastupidavamad, kui muld on bioloogiliselt toimiv, ning nad pakuvad suuremat tulu ja rikkalikumaid ökosüsteemi teenuseid (Teague et al., 2013).

Kuigi teadmiste ja tehnoloogia areng on oluliselt suurendanud põllumajanduse tootlikkust, ei ole piisavalt tähelepanu pööratud põllumajanduslike ökosüsteemide pakutavate ökosüsteemi teenuste pikaajalisele jätkusuutlikkusele. Sagedase mullaharimise ning laialdase kunstväetiste ja pestitsiidide kasutamise tõttu on rohumaaja ja põllukultuuride kasvatamine ülemaailmselt seotud negatiivsete mõjudega maaressursile ja kliimale (MEA, 2005; Delgado et al., 2011).

Enamiku põllumajanduslike muldade süsinikusisaldused on viimase 100 aasta jooksul

vähenenud (Lal, 2004). Ülemaailmses analüüsis leidsid Sanderman et al. (2017), et suurimad mulla orgaanilise süsiniku kaod tekivad küll eelkõige põllukultuuride kasvatamisel, kuid ülemaailmselt ulatuslikum karjatamine, eriti kuivades ja poolkuivades piirkondades, on vastutav vähemalt poole mulla orgaanilise süsiniku kadude eest. Piirkondade hulka, mis on kaotanud kõige rohkem mulla orgaanilist süsinikku võrreldes ajaloolise tasemega, kuuluvad Argentiina, Lõuna-Aafrika ja Austraalia rohumaad. Sellise ulatusliku mulla süsinikukao tõttu on halvenenud mulla struktuur, tootlikkus ja vastupanuvõime ning mulla võime imada, filtreerida ja säilitada pinnavett. Need mõjud on viinud mulla vaesumise ja hävimiseni, hüdrooloogiliste ja biogeokeemiliste protsesside häireteni, veekogude saastumiseni väetiste ja pestitsiidide leostumise tõttu, elurikkuse vähenemiseni, liigse veekasutuse ja põhjaveekogumite ammendumiseni ning kasvuhuonegaaside (KHG) heitkoguste suurenemiseni (Lali 2003, Janzen 2010).

On leitud, et ökoloogilisi protsesse arvestav mullaharimine ning mitmeaastaste söödataimede ja mäletsejaliste kariloomade sobiv kaasamine segapõllumajandus- ja karjatamissüsteemidesse vähendab probleeme, mis on seotud sünteetilistele sisenditele tugineva põllukultuuride kasvatamise ning söötmisväljakutel põhineva kariloomakasvatusega. Püsiv mulla kaetus söödakultuuridega on erosiooni vähendamiseks kriitilise tähtsusega. Ainult rohumaasöötasid tarbivate mäletsejaliste hea majandamise korral ületab süsiniku sidumine mäletsejaliste süsiniku heitkoguseid (Stanley et al., 2018). Taastavalt majandatavad agroökosüsteemid, mis hõlmavad rohusööta ja mäletsejalisi, vähendavad põlluharimise ning mineraalväetiste ja pestitsiidide kahjulikkust, suurendavad mulla orgaanilise süsiniku sisaldust, parandavad mulla ökoloogilist funktsiooni ja suurendavad elurikkust Janzen, 2010; Delgado et al., 2011; Gattinger et al., 2012; Aguilera et al., 2013).

Uuenduslik taastav karjatamisviis, mida nimetatakse paindlikuks portsjonkarjatamiseks (AMP), on paljudes maailma piirkondades toiminud juba neli aastakümnet. Portsjonkarjatamisega on saavutanud positiivseid ökoloogilisi ja majanduslikke tulemusi erinevates kliimaatilistes piirkondades keskmise sademete hulgaga alates 200 mm kuni 2000 mm.

Käesolevas artiklis kirjeldatakse herbivooride ajaloolist mõju rohumaadele, rohumaade tervist taastavaid alternatiivseid karjatamisviise, bioloogilisi tegureid ja

põhjuslikke mehhanisme karjatamisega ökosüsteemides. Rõhutatakse koostöö olulisust eeskujulike karjakasvatajate ja põllumajandustootjatega, et mõista karjatamisstrateegiaid, mis viivad ökoloogiliste funktsioonide ja ökosüsteemi teenuste kulutõhusa taastamiseni põllumajanduslikes süsteemides ja ühtlasi toetavad jätkusuutlikku sissetulekut muutavas keskkonnas. Keskendutakse sellele, kuidas erinevad strateegiad mõjutavad ökosüsteemi funktsionaalsust, tootlikkust ja jätkusuutlikkust, muutes vee ja toitainete ringluse ning taimekasvu aluseks olevaid mullaprotsesse (Teague et al., 2013).

HERBIVOORIDE AJALOOLINE MÕJU ROHUMAADELE

Rohumaad arenesid koos rohusööjatega alates hilisemast mesosoikumist keeruliste, dünaamiliste ökosüsteemidena, mis koosnesid rohttaimedest, mulla elustikust, rohusööjatest ja kiskjatest (Retallack, 2013). Karjatatavate maastike ruumiline ja ajaline varieeruvus põhjustas suurte kontsentreeritud karjade regulaarset liikumist, et rahuldada vee- ja toitainete vajadusi (Bailey ja Provenza, 2008; Provenza, 2008). Selline perioodiline kontsentreeritud rohusöömine tõi kaasa rohumaaliikide intensiivse ja ühtlase kasutamise suhteliselt lühikesed perioodid, kui loomad liikusid mööda maastikku. Nendele taimede intensiivse söömise perioodidele järgnesid tavaliselt puhkeperioodid, mille jooksul taimestik taastus enne, kui loomad sellele alale tagasi pöördusid. Varased küttide-korilaste kogukonnad mõjutasid maastikku üha enam, põletades alasid tahtlikult, et neid avada, ajada metsloomi jahipiirkondade poole ja meelitada loomi äsja põletatud aladele (Pyne, 2001).

Selle tulemuseks on karjatatavad ökosüsteemid, mis on keerukad ja väga vastupidavad ning säilitavad oluliselt suuremat taimestiku ja loomade biomassi kui muud maismaaelupaigad (Stuart Hill ja Mentis, 1982; Frank et al., 1998). Muutlike kliimatingimuste, tule ja karjatamise koostoime lõi paindlikud ja dünaamilised organismide võrgustikud, mis on võimelised reageerima episoodilistele biofüüsikalistele sündmustele, ning ökosüsteemid, mis ei jõua kunagi püsiva seisundi või kliimaksini. Sellised perioodilised häiringud noorendavad ja muudavad rohumaad, sealhulgas mulla

struktuuri ja toitainete sisaldust, taimeliikide kooslust, struktuuri ja elurikkust (Rice ja Parenti, 1978; Pickett ja White, 1985; Hulbert, 1988).

Rohumaade ja savannide ökosüsteemide evolutsioonis põhjustasid mullaseente ja bakterite, taimede ja mitmesuguste nendega seotud loomsete eluvormide sünergilised koostoimed atmosfääri süsiniku bioloogilist sidumist stabiilseteks mulla süsinikuvarudeks, suurendades muldade tootlikkust, vastupidavust, hüdroloogiat ja süsiniku sidumise võimet ning süsiniku akumulatsiooni ja oksüdatsiooni kiiruse tasakaalu (Frank ja Groffman, 1998; Altieri, 1999; Van der Heijden et al., 2008; De Vries et al., 2012; Morriën et al., 2017). Sellistel suure süsinikusisaldusega muldadel on suur veehoidevõime, mis võib pikendada roheliste fotosünteesivate taimelehtede kasvuaega ja pindala (Veizer et al., 2000; Ferguson ja Veizer, 2007; Pokorný et al., 2010). Kuigi nende integreeritud biofüüsikaliste süsteemide (mullad, hüdroloogia, taimed ja loomad) tulemuseks olid süsinikdioksiidi sidumise määrad, mis ületasid oksüdeerumise määra, on inimeste põllumajanduslik tegevus, sealhulgas korduv põletamine ja harimine ning ülekarjatamine viinud mulla süsinikdioksiidi dünaamika pöördumiseni ja mulla süsinikuvaru vähenemiseni.

Euroopa asunike saabumisega Põhja- ja Lõuna-Ameerikasse, Aafrikasse ja Austraaliasse asendusid vabalt rändavad suurte kariloomade karjad ja rändkarjakasvatus üha enam kodu juures karja pidamisega, maa jaotati üha enam tarastatud maavaldusteks ja kiskjad hävitati laialdaselt (Oesterheld et al., 1992; Provenza, 2008). Eraomandis kasutati rohumaad traditsiooniliselt loomakasvatuseks, lubades kariloomadel vabalt liikuda maaomandite piires. Sellist karjatamise majandamisviisi nimetatakse üldiselt hooajaliseks pidevaks karjatamiseks (CG) ja see toob tavaliselt kaasa kariloomade pikaajalise koondumise eelistatud alad (eriti madalamad, tasasemad alad, kus on rohkem maitsvaid ja kergesti kättesaadavaid taimi veevarude lähedal) ja eelistatud söödataimede korduva kasutamise (Fuls, 1992; Kellner ja Bosch, 1992; Teague et al., 2004). Selline pikaajaline selektiivne tarbimine piiratud aladel on viinud lokaalse ülekarjatamiseni, vähem maitsvate rohuliikide ja puittaimede levikuni, taimestikuga katmata alade laienemiseni ja lõpuks karjatatud maastike ökoloogilise funktsionaalsuse vähenemiseni (Briggs et al., 2005; Archer et al., 2017). Pidev kontsentreeritud karjatamine võib põhjustada ka mulla agregaatide ja struktuuri kahjustumist, pinnavee

väiksemat imamisvõimet, vähem taimedele kättesaadavat mullavett ning suurenenud pinnavee äravoolu, mulla erosiooni, toitainete liikumise veekogudesse ning lõpuks eutrofeerumist ja mageveekogude kahjustamist (Thurow, 1991; Burkart ja Stoner, 2002; Babiker et al., 2004; Webber et al., 2010). Viimase 70 aasta jooksul on üha enam industrialiseeritud karjatamise ja põllukultuuride kasvatamise tavad neid mõjusid oluliselt kiirendanud, kuna pideva karjatamise puhul on rakendatud liigset loomkoormust koos põletamise, harimise, mineraalväetiste, pestitsiidide ja niisutuse liigse kasutamisega, mis üheskoos oksüdeerivad mulla süsinikku (Delgado et al., 2011).

ALTERNATIIVSED KARJATAMISVIISID

Üheks alternatiivseks lähenemisviisiks pidevale karjatamisele (*continuous grazing, CG*) on rohukasvu kiirusest lähtuv paindlik portsjonkarjatamine, mille puhul kasutatakse karja kohta teatud arvu kopleid eesmärgiga karjatades parandada ka ökoloogilisi funktsioone (Teague et al., 2013). Selle saavutamiseks kohandatakse loomade arvu vastavalt olemasolevale söödabaasile, kasutatakse lühikesi karjatamisperioode, jäetakse karjatamise järel vajalik varu taimede taaskasvamiseks ning nähakse ette pikad taastumisperioodid, et ühtlustada rohttaimede kasvu hooajalisi ja aastaajalisi varieeruvusi. Oluline on rõhutada, et paindlik portsjonkarjatamine ei ole samaväärne rotatsioonilise karjatamisega, mis on selliste karjatamisviiside üldnimetus, kus karjatatav ala jagatakse teatud arvuks karjamaadeks, mida karjatatakse järjestikku kindlaksmääratud karjatamisperioodide jooksul.

Pideva karjatamise puhul kipub eelistatud alade pikaajaline ülekasutus viima elurikkuse, orgaanilise aine muldaviimise, toitainete ringluse, mulla kaetuse ja kvaliteetse sööda vähenemiseni ning ühtlasi mulla huumuskihi ja tootlikkuse vähenemiseni. Seevastu on väidetud, et paindliku portsjonkarjatamisega, kus toimub intensiivne perioodiline karjatamine, millele järgneb karjamaa taimestiku pikemaajaline taastumisperiood, võidakse saavutada ökosüsteemi netotulu, sealhulgas mulla süsiniku, toitainete ringluse, mulla mikroobide funktsioonide, maapealse ja maa-aluse elurikkuse, pinnavee imendumise, taimejuurte sügavuse, taimestiku katvuse, rohttaimede biomassi ja lõpuks ka farmi kasumlikkuse suurenemise osas (Jakoby et al., 2014, 2015; Martin et al., 2014).

Karjamaade pikaajalise jätkusuutlikkuse tagamiseks peavad loomakasvatajad võtma kasutusele karjatamisviisid, mis parandavad mulla ja ökosüsteemi funktsioone ja vastupidavust (Havstad et al., 2007). Paindlikul portsjonkarjatamisel on potentsiaal tagasi pöörata pidevast karjatamisest tulenevaid ökosüsteemi degradeerumise põhjuslikke mehhanisme, vähendades taimestikuga katmata mulla pinda, suurendades vee imendumist mulda ja mulla veemahutavust ning vähendades pinnavee äravoolu ja seega mulla ja toitainete kadusid, suurendades seente ja bakterite suhet ja suurendades mulla süsiniku sisaldust ning lõpuks taastades produktiivsed rohttaimede kooslused, vähendades taimtoiduliste loomade võimalust valida ainult kõige toitvamaid rohuliike (Sovell et al., 2000; Webber et al., 2010; Delgado et al., 2011; Teague et al., 2011, 2013; Weltz et al., 2011).

BIOLOOGILISED TEGURID JA PÕHJUSLIKUD MEHHANISMID KARJATAMISE ÖKOSÜSTEEMIDES

Karjamaade tootlikkus ja vastupanuvõime keskkonnamuutustele sõltub mulla tervisest ja mikroobide funktsionaalsest mitmekesisusest (Plassart et al., 2008; Morriën et al., 2017). Mullamikroobide suur biomass aitab kaasa mulla parema agregatsiooni, poorsuse, vee liikumise ja veemahutamise paranemisele ning mulla kiiremale süsiniku ja toitainete käibele (Coleman ja Crossley, 1996; Six et al., 2004). Mulla tervis, mis koondab eelnevad tegurid, on usaldusväärsem rohttaimede tootlikkuse näitaja kui maakasutuse ajalugu (De Vries et al., 2013).

Kuigi suurim piirav tegur karjamaade ökosüsteemides on mulla veehoiuvõime ja veeläbilaskvus (Thurow, 1991), nõuab ökosüsteemi optimaalne toimimine ka tõhusat päikeseenergia kasutamist, orgaanilise aine akumulatsiooni mullas, tõhusat toitainete ringlust ning suurt maa-alust ja maapealset elurikkust (Teague et al., 2013; Savory ja Butterfield, 2016). Mulla tervis sõltub mullamikroobide, putukate, taimede ja loomade vastastikustest seostest. Taimed toetavad mikroobide elu, pakkudes süsivesikuid, juureeritisi ja detriiti, millest mikroobid toituvad, ning taimed saavad kasu mulla algloomade, bakterite, seente ning teiste mikroobide ja eukarüootiliste liikide

koostoimest tulenevatest toitainete vabanemisest. Seetõttu võib taimede majandamise ja kasutamise viis karjatamisel otseselt mõjutada seotud ökosüsteeme, sest ökoloogilisi funktsioone juhtiv energia saadakse peamiselt päikeseenergia muundamisest süsivesikuteks fotosünteesivate taimede poolt.

Mullaorganismide sünergilise võrgustiku funktsioonide hulka kuuluvad: mulla agregatsioon ja stabiliseerimine (Van der Heijden et al., 2008); õhustamine ja vee läbilaskvus (Altieri, 1999); toitainete ringlus, akumulatsioon ja säilitamine (Green et al., 2008; Khidir et al., 2008); biootilise ja abiootilise stressi taluvus (De Vries et al., 2012) ning keskkonnategurite mõju puhverdamine taimedele (Van der Heijden et al., 2008). Oluline on see, et arbuskulaarsed mükoriisaseened on paljude maismaaökosüsteemide, eriti rohumaade võtmeliigid, sest nad võivad suurendada taimede mitmekesisust, vahendada taimede ja teiste mikroobide vahelisi interaktsioone ning parandada taimede juurdepääsu toitainetele (Averill et al., 2014). Lisaks võib mükoriisaseente, mügabakterite ja liblikõieliste taimede vaheline sümbioos suurendada fotosünteesi 50% võrra (Kashuk et al., 2009) ning mükoriisaseened aitavad otseselt kaasa mulla orgaanilise aine sisalduse suurenemisele, eritades mulda glükoproteiine, mis suurendavad mulla agregaatide stabiilsust, parandades seeläbi mulla õhustatust ja veeläbilaskvust (Rillig, 2004).

Mulla funktsioonide taastamisele suunatud karjatamisstrateegiad enamasti soodustavad mulla mikrobikooslusi ning suurendavad toitainete ringluse ja süsiniku omastamise tõhusust (Ngumbi ja Kloepper, 2016; Slade et al., 2016; Morriën et al., 2017). Karjatamise kohandamisega saab optimeerida nt sõnnikumardikate ja vihmausside pakutavat kasu.

Loomakasvatussüsteemid, mis kasutavad kunstlikke sisendeid (nt mineraalväetised, pestitsiidid ja loomade ravimid) või karjatamisviise, mille tulemuseks taimestiku kahjustamine, mõjuvad halvasti mullaorganismidele, nende omavahelistele suhetele ja funktsioonidele, vähendades sellega ökosüsteemi teenuste osutamist (Iglesias et al., 2006; LaCanne ja Lundgren, 2018). Seevastu rohumaasöödapõhine kariloomakasvatus, kus välditakse kahjulike sisendite kasutamist, võib asjakohase majandamise korral olla ökoloogiliselt kasulik ja taastav, toetades mehhanisme, mis viivad mulla tervise paranemiseni, et tagada taimede ja kariloomade toitumisvajadused.

KARJATAMISE KORRALDAMINE ÖKOLOOGILISTE FUNKTSIOONIDE JA ÖKOSÜSTEEMI TEENUSTE TAASTAMISEKS

Hästi planeeritud ja paindlikult juhitud portsjonkarjatamise süsteemide kasutamine on karjamaade säästva kasutamise ja degradeerumisest taastumise võti, mis hõlmab lühikesi karjatamisperioode, piisava hulga taimejäänuste ja taimkatte säilitamist, et kaitsta mulda ja võimaldada taimestiku kiiret taastumist. Selline majandamine võimaldab karjatatud ala taimestikul piisavalt aega järelkasvuks. Kariloomade arvu kohandamine vastavalt olemasolevale rohumaasööda biomassile tagab ökosüsteemi toimimise, loomadele piisava sööda ja väldib tarbetuid kulusid (Earl ja Jones, 1996; Jacobo et al., 2006; Provenza, 2008; Ferguson et al., 2013; Teague et al., 2013; Wang et al., 2016).

Paindlik portsjonkarjatamine hõlbustab nende elementide kohandamist, et vältida mullakadu, tugevdada mulda ja ökoloogilisi funktsioone, suurendada rohttaimede biomassi ja minimeerida ebaproduktiivse liigilise koosseisu suurenemist, mis kokkuvõttes viib ka soovitud ressursi- ja finantstulemuste saavutamiseni. Rohumaade puhul on ülemaailmselt tõestatud, et taastava paindliku portsjonkarjatamise rakendamine on võimeline parandama pikaajalise ja pideva suure koormusega karjatamise praktikast tulenevat degradatsiooni (Gerrish, 2004; Teague et al., 2011, 2013; Jakoby et al., 2014, 2015; Savory ja Butterfield, 2016). Lisaks on poolkuivades piirkondades, kus sellist taastavat karjatamisviisi on aastakümneid rakendatud, täheldatud muutust paremuse poole elurikkuse, sealhulgas tolmeldajate, taimede tootlikkuse, taimejäänustega pinnakaetuse, lämmastikku siduvate liblikõieliste, ajutiste vooluveekogude alaliseks muutumise ja valgalade funktsioneerimise osas (National Research Council., 2002).

Kui teadlased on töötanud karjakasvatajatega, kes praktiseerivad paindlikku portsjonkarjatamist mulla tervise ja ökosüsteemi funktsioonide taastamiseks, on saanud infot positiivsetest tulemustest ressursside ja majandusnäitajate osas. (Teague et al., 2013; Savory ja Butterfield, 2016; Teague ja Barnes, 2017). Täpsemalt on Argentinas, Austraalias, Saksamaal, Lõuna-Aafrikas ja USAs läbi viidud uuringutes teatatud taastava ökoloogilise karjatamise positiivsetest ressursi- ja majandustulemustest, kui uuringusse on kaasatud järgmised neli tegurit. Uuringud, i) viidi läbi karjakasvatustevõtete

tasandil; ii) karjatamisressursside kasutamist kohandati ennetavalt, kui kasvutingimused muutusid, et saavutada soovitud ökosüsteemi ja tootmise eesmärgid; (iii) kui karjatamisviise kohaldati piisavalt pika ajavahemiku jooksul, et ületada biofüüsikaline reageerimise viivitus ja hõlmata mitmesuguste keskkonnategurite hooajalised ja hooajasisesed erinevused, ning iv) mõõdeti ka ökosüsteemi funktsioonide muutust, mitte ainult tootmistulemusi (Earl ja Jones, 1996; Murphy, 1998; Gerrish, 2004; Jacobo et al., 2006; Müller et al., 2007; Provenza, 2008; Teague et al., 2011, 2013; Jakoby et al., 2014, 2015; Martin et al., 2014; Müller et al., 2014; Flack, 2016; Wang et al., 2016).

Paindliku portsjonkarjatamise meetodid on spetsiaalselt loodud selleks, et jäljendada ökosüsteemi protsesse, mis kujunesid välja vastusena suurte rohusööjate karjade intensiivsele, perioodilisele taimede söömisele, ning need on olnud tõhusad pideva karjatamise põhjustatud kahjustuste õigeaegseks ja kulutõhusaks tagasipööramiseks (Gerrish, 2004; Teague et al., 2011, 2013; Wang et al., 2016).

Paindliku portsjonkarjatamise põhimõtete kasutamine suurendab aja jooksul loomkoormuse taluvust, samal ajal parandades ökoloogilisi funktsioone, kuna portsjonite arv suureneb. Siiski ei ole see intensiivne karjatamine, vaid karjatamise intensiivne juhtimine (Dowhower et al., 2019), kuna see pöörab intensiivse karjatamise mõjud ümber, vältides paindlikult liigset kariloomade arvu rohumaal ja ülekarjatamist olenevalt ilmastikust (Jakoby et al., 2014, 2015; Teague et al., 2015; Wang et al., 2018). Koos viivad need tegevused karjatamise kerge kuni mõõduka mõjuni rohttaimedele ja mullale ning ökoloogilistele funktsioonidele, mida nad täidavad (Teague et al., 2013; Jakoby et al., 2014; Teague ja Barnes, 2017; Dowhower et al., 2019).

MULTIFUNKTSIONAALSED MAJANDAMISVIISID PÖLLUMAJANDUSES

Meie tulevik sõltub sellest, kui hästi majandatakse rohumaa ökosüsteeme, et taastada mulla ja ökosüsteemi funktsioonid. Süsinikurikkad mullad on kasulikud kõikides maismaaökosüsteemides ning mulla süsiniku hulga suurendamine on oluline ökosüsteemi teenuste puhul, nagu mulla vee läbilaskevõime ja veehoiuvõime; mulla toitainete ringlus ja säilitamine; elurikkuse, sealhulgas seente, mikroobide, putukate, taimede ja loomade mitmekesisus; looduslike liikide toitumise ja elupaiga pakkumine;

sööt kariloomadele. Kõik need võivad aidata suurendada põllumajandusettevõtete kasumlikkust ja vastupanuvõimet muutavas kliimas. Selle saavutamiseks tuleb põllumajanduses minna traditsioonilistelt mahuka sisendiga viljelus- ja karjatamisviisidelt üle vähese sisendiga viisidele, mis suurendavad atmosfäärist süsinikdioksiidi sidumist fotosünteesi kaudu ja suurendavad mulla mikroobide hulka, mis parandavad mulla vee- ja toitainete ringlust ning vähendavad süsiniku vabanemist mullast tagasi atmosfääri. Selleks on vaja suurendada mitmeaastaste taimede kasvualade pinda ja suurendada taimede fotosünteesi hooajalist kestvust, mis on ühtlasi seotud süsiniku sidumise suurendamisega (Delgado et al., 2011).

Inimestel on minimaalne võime kontrollida mitteinimtekkelisi keskkonnamuutusi põhjustavaid tegureid (Plimer, 2009). Mittejätakuuutlike põllumajandustavade tõttu keskkonnale avaldunud inimõju saab samas paljudel juhtudel, kus ülemäärast mullakadu ei ole toimunud, lahendada maastike degradeerumise tagasipööramisega, minnes üle ressursse kurnavatelt ja keskkonnale kahjulikelt tavadelt ja sisenditelt taastavatele karjatamis- ja viljelemistavadele (Delgado et al., 2011; Teague et al., 2013). Selleks on vaja kasutada majandamisviise, mis taastavad tõhusalt ja tulemuslikult hüdroloogilisi tsükleid, mulla tervist ja kriitiliselt tähtsate ökosüsteemi teenuste osutamist.

Praktikad, mida saab kasutusele võtta, et oluliselt suurendada mulla süsiniku sisaldust, hõlmavad taastavat põllukultuuride kasvatamist, taastavat karjatamist põllu- ja rohumaadel, varju pakkuvate puude olemasolu karjamaadel ja metsatulekahjude vähendamist (Delgado et al., 2011; Teague et al., 2013). Nii põllukultuuride kasvatamise kui ka karjatamise süsteemides on ökoloogiliste funktsioonide optimeerimise ja varasemast vääramast majandamisest põhjustatud degradeerumise tagasipööramise võti mulla tervist parandavate majandamisviiside kasutamine. Täpsemalt säilitatakse mulla ökoloogilised funktsioonid sellega, et vähendatakse aega, mil muld on katmata, säilitades taimede ja taimejäänustega kaetuse kogu aasta jooksul, kasvatades pigem mitmeaastaseid kui üheaastaseid taimi, kasutades mitmekesiseid liigisegusid ja vahekultuure, korraldades karjatamist nii, et soodustada kõige tootlikumate taimede kasvu, maksimeerides taimede kasvuperioodi igal aastal, jättes kõrvale suure mõjuga mullaharimise, kasutades orgaanilisi väetisi ning vähendades kunstväetiste ja pestitsiidide kasutamist (Delgado et

al., 2011; Teague et al., 2011; Gattinger et al., 2012; Aguilera et al., 2013).

Veeringlus ja taimestik mängivad olulist rolli kohaliku kliima säilitamisel energia ülekandumise kaudu aurumise protsessis; täpsemalt vähendab vee ja taimede koostoime intensiivsest päikesekiirgusest tulenevaid temperatuurimaksimume (Pokorný et al., 2010). Arvestades veeauru võimsust soojuse absorbeerijana, viib taimedelt aurumine soojust maapinnalt atmosfääri, jahutades seeläbi maapinda. See moodustab umbes 24% looduslikust globaalsest hüdroloogilisest jahutusest (Pokorný et al., 2010). Maastike muutmine põllumajanduse, ülekarjatamise, metsade raadamise, mürkainete kuivendamise ja linnastumise tõttu, mille käigus eemaldatakse transpireeriv taimestik, vähendab ökosüsteemide isereguleeruvat päikesekiirguse ja temperatuuride tasakaalustamist. Et hoida hüdroloogilist tsüklit toimivana, on olulise jahutuse saavutamiseks aurumise kaudu vajalik ulatuslik aktiivselt kasvavate taimede katvus (Ferguson ja Veizer, 2007). Mulla süsiniku sisalduse suurendamine suurendab nii pinnavee imendumist, mulla veehoiuvõimet kui ka mulla viljakust, mis on vajalik taimede kasvu ja suure roheline lehepinna toetamiseks, mis omakorda suurendab aurumist ja taimede biomassi.

Mulla tervis, mida määratletakse kui mulla jätkuvat võimet toimida elava ökosüsteemina, määrab praeguste ja tulevaste põlvkondade hüvanguks osutatavate ökosüsteemi teenuste koguse ja kvaliteedi. Paleoloogilised andmed tõendavad, et rohumaade agroökosüsteemide majandamine võib luua suure süsinikuvaru (Retallack, 2013). Samamoodi võib mäletsejalistel põhinevate tootmisahelate majandamisviiside muutmine parandada mulla tervist ja seeläbi luua neto süsinikuvaru (Wang et al., 2015; Rowntree et al., 2016; Stanley et al., 2018).

Arvestades, et enamik põllumajandustootjaid ei ole kasutanud Delgado et al. (2011) kirjeldatud jätkusuutlikke meetodeid, võib nende laialdasem rakendamine viia mulla tervise olulisele paranemisele ja seega mulla süsinikuvaru olulisele suurenemisele (Conant ja Elliott, 2001; Liebig et al., 2010; Teague et al., 2011; Machmuller et al., 2015; Dowhower et al., 2019; Hillenbrand et al., 2019). Selleks, et määrata kindlaks, millised muutused majandamises toovad kaasa mulla süsinikuvaru suurenemise, on vaja kaasata kõik tootmisahela elemendid, mis mõjutavad kogu vaadeldava süsteemi süsiniku jalajälge (Teague et al., 2016), sealhulgas tuleb arvestada ka kasulikke ökosüsteemi

teenuseid, mida hästi juhitud karjatamissüsteemid võivad pakkuda.

Põllukülvikordade kombineerimine loomade karjatamisega võib parandada mulla funktsioone ja tervist (Delgado et al., 2011). Külvikordadega, mis hõlmavad liblikõielisi ning vahe- ja rohusöödakultuuride kasvatamist, saab tekitada püsiva mullakatte ning suurendada mulla süsiniku sisaldust, vee imendumist ja viljakust. Lisaks võib karjatamine kiirendada toitainete ringlust maapealse biomassi jääkide lagundamise kaudu (Teague et al., 2016).

Kuigi mõned uuringud väidavad, et lihaveiste nuum teraviljapõhise söödaga vähendab kasvuhoonegaaside heitkoguseid toodetud veiseliha kilogrammi kohta ning on väiksema süsinikujalajäljega võrreldes rohumaasöödal toodetud veiselihaga, ei võta sellised uuringud arvesse erinevate tootmisahelate täielikku süsinikujalajälge (Teague et al., 2016; Stanley et al., 2018). Kuigi teraviljanuum lühendab kogu tootmise aega kuni tapmiseni ja vähendab selle aja jooksul toimuvat seedemetaani heidet (Stackhouse-Lawson et al., 2012; Capper ja Bauman, 2013), ei võeta sellistes arvutustes arvesse rohumaaveiste pidamise negatiivset süsinikujalajälge ehk süsiniku sidumist, mis tuleneb veiste karjatamisest mitmeaastastel rohumaadel. Olelusringi analüüsid, mis hõlmavad kõiki teraviljapõhise sööda tootmisega seotud kasvuhoonegaaside heitkoguseid, sealhulgas mineraalväetiste ja niisutusvee tootmist ja kasutamist teravilja kasvatamiseks, näitavad, et nii süsiniku jalajälg kui ka mulla erosioon, mis on seotud teraviljasöödapõhise veiseliha tootmisega, ületab oluliselt rohumaapõhise veiseliha süsiniku jalajälge (Teague et al., 2016; Stanley et al., 2018). Lisaks sellele ületab rohumaataimede poolt seotud süsiniku kogus karjatatavate loomade seedimisprotsessiga seotud süsiniku heitkogused (Wang et al., 2015; Rowntree et al., 2016). Veiseliha tootmisahela süsinikujalajälge saab oluliselt vähendada, kui loomi söödetakse rohusööda ja teraviljaga, mis on toodetud taastava põllumajanduse meetoditega, millel on negatiivne süsiniku jalajälg (Gattinger et al., 2012; Aguilera et al., 2013). Kui seda kombineerida taastava paindliku portsjonkarjatamisega, võib kogu tootmisahela tulemuseks olla mulla süsinikutaseme märkimisväärne suurenemine ja sellega seotud ökoloogiline kasu.

JÄTKUSUUTLIKE TULUEESMÄRKIDE SAAVUTAMINE MUUTUVAS KESKKONNAS

Pidevalt karjatavate rohumaade puhul on jätkusuutlike eesmärkide saavutamiseks äärmiselt oluline valida sobiv majandamise struktuur (Teague et al., 2009). Väga heas seisukorras rohumaade puhul võib tootmise kasum olla neli korda suurem kui halvas seisukorras rohumaade puhul (Teague et al., 2009), kuid pideva karjatamise korral on kasum maksimaalne, kui loomkoormus on suurem kui see, mis pikaajaliselt säilitaks või parandaks karjamaade seisundit. On kindlaks tehtud, et pidevalt karjatavate alade ülekarjatamise ja pikaajalise degradeerumise vältimiseks on oluline majandamisvalik väike loomkoormus (Briske et al., 2008). See toob aga kaasa alternatiivkulu, mis tuleneb loomakasvatustoodangu väiksemast mahust, ja seega ka väiksema sissetuleku. On leitud, et rohumaadele perioodiline puhkuse andmine ja rotatsiooniline karjatamine, eelkõige paindlik portsjonkarjatamine, võivad oluliselt vähendada karjatamise negatiivset mõju keskkonnas, kus esineb märkimisväärset selektiivset karjamaa kasutamist ja taimestiku taastumine on suhteliselt aeglane (Snyman, 1998; Teague et al., 2004; Müller et al., 2007).

Jakoby et al. (2014) tegid kindlaks, et karjatamise korralduse puhul, kus kasutati karja kohta suurt arvu karjakopleid, et tagada lühikesed karjatamisperioodid ja piisav karjatamisjärgne taimede taastumine, paranesid kasutatavad ressursid ja saadi optimaalseid majandustulemusi. Majanduslik risk vähenes siiski ainult selliselt kohandatud majandamise korral, mis võttis modelleeritud maastikul arvesse kõigi karjakoplite söödakvaliteeti ja hooajalisust (Jakoby et al., 2015). Samamoodi leidsid Teague et al. (2015), et liiga pikad karjatamise või taimestiku taastumise perioodid põhjustasid kehvemat loomade jõudlust ja taimede taastumist, mis on majanduslikult kahjulik.

Paljude karjakoplite kasutamine karja kohta koos karjatamise paindliku korraldusega on vähem tundlik ülekarjatamise suhtes kui pidev karjatamine ja asjakohase majandamise korral parandab ökoloogilisi funktsioone (Jakoby et al., 2015; Teague et al., 2015). Paindliku portsjonkarjatamise eelis pideva karjatamise ees pole väikeste loomkoormuste puhul märkimisväärne, see muutub aga üha olulisemaks, kui loomade arvu majandustulemuste parandamiseks suurendatakse. Sarnaselt näitasid Wang et al.

(2016), et paindlik portsjonkarjatamine lühikeste karjatamisperioodidega ja piisavalt pikkade karjatamisjärgsete taastumisperioodidega parandas rohu koostist ja tootlikkust ning karja söömust kuivaines võrreldes pideva karjatamisega, eriti suurema loomkoormuse ja kehvema rohumaataimiku korral. Seevastu on paindliku portsjonkarjatamise eelised vähem ilmsed soodsate sademete, väikese loomkoormuse ja ebasoovitavate taimede vähese esinemise korral ning juhul kui karjatamisjärgselt antakse aladele lühike taastumisperiood. Kokkuvõttes leiti nendes uuringutes, et nii madala kui ka kõrge riskiga majandamisstrateegiate puhul parandas suurt arvu karjakopleid kasutatav paindlik portsjonkarjatamine ressursside seisundit, suurendas tõenäosust, et saavutatakse minimaalne sissetuleku eesmärk, vähendas sissetuleku kõikumist ning andis parema majandusliku tasuvuse (Jakoby et al., 2015).

JÄRELDUSED

Põllumajanduslike ökosüsteemide pikaajalise jätkusuutlikkuse ja ökoloogilise vastupidavuse tagamiseks tuleks majandamisotsuste tegemisel lähtuda süsteemist, mis soodustab sellist põllukultuuride kasvatamist ja karjatamist, mis taastavad mulla ja ökosüsteemi funktsiooni ebakindlas ja kiiresti muutuvast kliimas. Karjatamise ja põllukultuuride kasvatamise asjakohase korraldamisega saab taastada või parandada mulla ökoloogilisi funktsioone, et parandada olulisi ökosüsteemi teenuseid, mis toetavad inimeste heaolu, vähendades samal ajal kulukate ja potentsiaalselt kahjulike kunstlike sisendite kasutamist. Mulla tervise ja ökosüsteemi funktsioonide taastamine on võimalik, kasutades säästvaid põllumajandustavasid, et toetada ökoloogiliselt terveid ja vastupidavaid põllumajanduslike ökosüsteeme ning parandada tootmise tasuvust.

Majandatavatel maastikel läbiviidud uuringud näitavad, et paindliku portsjonkarjatamise ja rohumaasööda-põllukultuuride taastava kasvatamise strateegiad, mis hõlmavad lühiajalisi suure koormusega karjatamisperioode koos taimestiku pikkade taastumisperioodidega ning söodatootmist ja karjatatavaid mäletsejalisi hõlmavaid külvikordi, millega kaotatakse või vähendatakse oluliselt mullaharimist ning mineraalväetiste ja pestitsiidide kasutamist, võivad taastada mulla ja ökosüsteemi funktsiooni ka suurte tootmismahude korral. Mõjutatud ökosüsteemi teenuste hulka

kuuluvad päikeseenergia salvestamine, mulla süsiniku akumulatsioon, mullateke ja mulla stabiliseerimine, vee imendumine, mulla ja biosfääri jahutamine, toitainete ringlus ja säilitamine, taimede biomassi tootmine, elurikkus ja looduslike liikide elupaigad. Söödataimede püsiva katte suurendamine on väga tõhus vahend mulla erosiooni vähendamiseks ja sademete mulda imendumise suurendamiseks. Lisaks sellele võib hästi juhitud paindlikku portsjonkarjatamist kasutava rohumaaveisekasvatuse tulemuseks olla süsiniku netosalvestamine. Samamoodi võib rohumaade ja karjatavate loomade kaasamine külvikorrastustesse taastada mulla ökoloogilisi funktsioone ja suurendada mulla süsiniku sisaldust.

Kasutades eesmärgipärast planeerimist ja seiret, et pöörata tagasi kahjustused, mis on tekkinud halva karjatamise, mullaharimise, mineraalväetiste ja pestitsiidide kasutamisest, saab elurikkust ja looduslike elupaiku tõhusalt soodustada, kui need on kaasatud majandamise eesmärkidesse.

Praeguste põllumajandustavade kahjulike mõjude kõrvaldamiseks ning mulla ja ökosüsteemi toimimise ja vastupanuvõime taastamiseks on oluline asendada praegused mittesäästvad, kulukad ja kahjulikud suure sisendiga põllumajandustavad vähese sisendiga taastavate tavadega. Et taastada karjamaade pakutavad ökosüsteemi teenused, mis on aluseks maaomanike sissetulekute suurendamisele, on võtmeküsimuseks hästi planeeritud ja paindlikult juhitud rohukasvu kiirust arvestav portsjonkarjatamine. Pideva vähese loomkoormusega karjatamise edendamine lootuses, et see vähendab halva karjatamispraktika negatiivseid ajaloolisi mõjusid, võib parimal juhul säilitada või ehk veidi parandada halvenenud karjamaaressurssi. Siiski ei anna see tõenäoliselt piisavat majanduslikku tulu, mis julgustaks kasutusele võtma mulla degradeerumise tagasipööramiseks vajalikke maaharimisviise, ning seega ei suurenda tõenäoliselt toiduainete tootmist ega kasumipotentsiaali. Teisalt võib asjakohaselt hallatud paindliku portsjonkarjatamise kasutamine mitte ainult anda rohkem loomakasvatustoodangut hektari kohta ja tõhustada tootmist, vaid ka parandada mulla ökoloogilist funktsiooni ning seega ökosüsteemi teenuste osutamist ja karjatamise ökosüsteemidest saadavat kasumit (Jakoby et al., 2015).

Selleks, et suurendada mulla tervist tõendatult parandavate maaharimistavade kasutuselevõttu, peavad teadlased tegema koostööd tootjatega, kes on suutnud

parandada oma ressursibaasi, et saavutada häid finantstulemusi. Tuleb teha kindlaks sellised majandamistegurid, mis viivad mulla kvaliteedi paranemiseni ja aitavad saavutada usaldusväärset keskkonnavalast, majanduslikku ja sotsiaalset kasu.

Piirkondades, kus põllukultuuride kasvatamine ei ole võimalik kliimaatiliste, mullastiku või topograafiliste piirangute tõttu, vähendab kariloomade karjatamine viisil, mis parandab mulla tervist, oluliselt põllumajanduse süsinikujalajälge. Mäletsejalised kariloomad on oluline vahend mitte ainult sellistes piirkondades elavate inimeste elatusvahendite tagamiseks, vaid ka jätkusuutliku põllumajanduse saavutamiseks aladel, kus põllukultuuride kasvatamine on võimalik, kui rakendatakse asjakohaseid taastava karjatamist ja põllukultuuride kasvatamise praktikaid. See võib suurendada süsinikdioksiidi sidumist atmosfäärist ja mulla süsinikuvaru, mis enam kui tasakaalustab mäletsejaliste kasvuhooonegaaside heitkoguseid, ning see parandab ökosüsteemi teenuseid, mis on olulised inimeste pikaajalise heaolu jaoks.

Lühendatult tõlgitud artiklist: Richard Teague^{1,2} ja Urs Kreuter³ Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2020.

¹ Texas A&M AgriLife Research, Vernon Center, TX, Ameerika Ühendriigid

² Department of Rangeland, Wildlife and Fisheries Management, Texas A&M University, College Station, TX, Ameerika Ühendriigid

³ Department of Ecology and Conservation Biology, Texas A&M University, College Station, TX, Ameerika Ühendriigid

Tõlge eesti keelde: Tõlkis Mahepõllumajanduse Koostöökogu, toetas Euroopa Maaelu Arengu Põllumajandusfond (EAFRD) „Teadmussiirde programm põllumajanduse, toidu ja maamajanduse valdkonnas“ mahemajanduse valdkonna raames.

