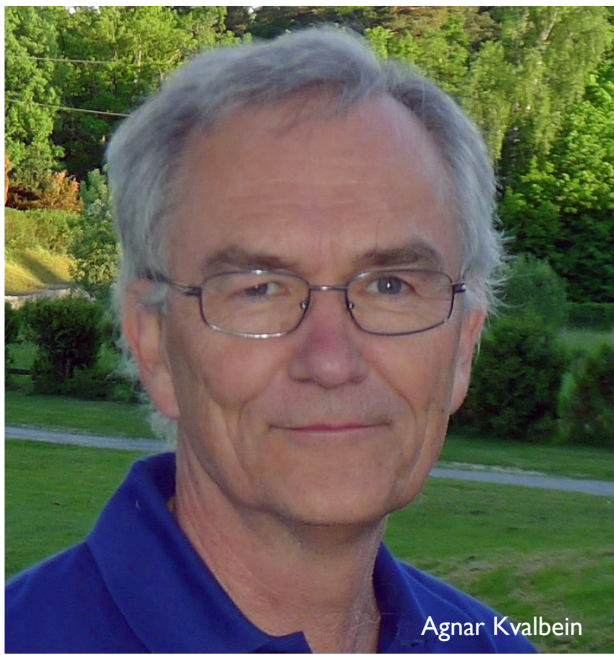


GOLFKENTÄN KASTELU

- kentänhoitajan opas teorian
ja käytännön ymmärtämiseen



Sterf



Agnar Kvalbein



Trygve S. Aamlid

ESIPUHE

Tämä ohjekirja perustuu yleiseen tietämukseen maaperästä ja kasveista ottaen huomioon uusimman tiedon urheilunurmien vedenkäytöstä ja laadusta. Vuosien 2009 ja 2011 välillä tehtiin useita kenttäkokeita Norwegian Institute for Agricultural and Environmental Research (Bioforsk) -tutkimuslaitoksen urheilunurmien testauskeskuksessa Landvikissa (Grimstad, Kaakkois-Norjassa). Merkittävin havainto näissä kokeissa oli nurmen liiallinen vedenkulutus, kun veden helppo saatavuus oli rajatonta. Tämä uusi käsitys veden saatavuuden ja vedenkäytön läheisestä suhteesta tarjoaa merkittävän mahdollisuuden säästää huomattavia määriä vettä parantamalla kastelukäytäntöjä.

Kastelua pidetään vaikeana aiheena viljelytieteessä. Veden saatavuus vaikuttaa kasvien kasvuun monin tavoin. Kuivuus ja kastelu vaikuttavat paitsi kasveihin, myös kasvualustoihin ja luonnonmaihin. Tällä hetkellä ei ole olemassa teknisiä ratkaisuja, jotka voisivat korvata roolisi golfkentän kasteluvastaavana. Jotta voitit kastella kunnolla, sinun on tunnettava kenttäsi eri osat ja sinun on käytettävä aikaa kastelun suunnitteluun, toteuttamiseen ja vaikutusten seuraamiseen.

Kiitämme Scandinavian Turfgrass and Environment Research Foundationia (STERF) ja Norjan tutkimusneuvostoa (NRF) Hiekkapohjaisten golfviheriöiden haihtumisvaatimusten ja alijäämäkastelun tutkimusprojektin rahoittamisesta ja tämän käsikirjan julkaisemiseen osallistumisesta. Kiitämme myös Rainbird Irrigation Company -yritystä automaattisen kastelun tarjoamisesta tutkimukselle sekä nurmiagronomi Mikael Friskia, Ruotsin golfliittoa ja Dr. Jerry Knoxia (Cranfield University) arvokkaista kommentteista tähän oppaaseen.

Toivomme, että tämä käsikirja antaa sinulle hyvän käsityksen ja perustan kasteluhallintakäytäntöjen parantamiseksi korkealaatuisen nurmikoton tuottamiseksi pienemmillä ympäristö- ja taloudellisilla kustannuksilla. Toivomme myös, että tulevaisuudessa uudet kastelunhallinnan tekniset edistysaskeleet ja innovaatiot auttavat tarjoamaan yhdenmukaiseman kastelun kuin nykyinen sprinkleritekniikka tarjoaa.

Landvik, 1. Helmikuuta 2014

Agnar Kvalbein

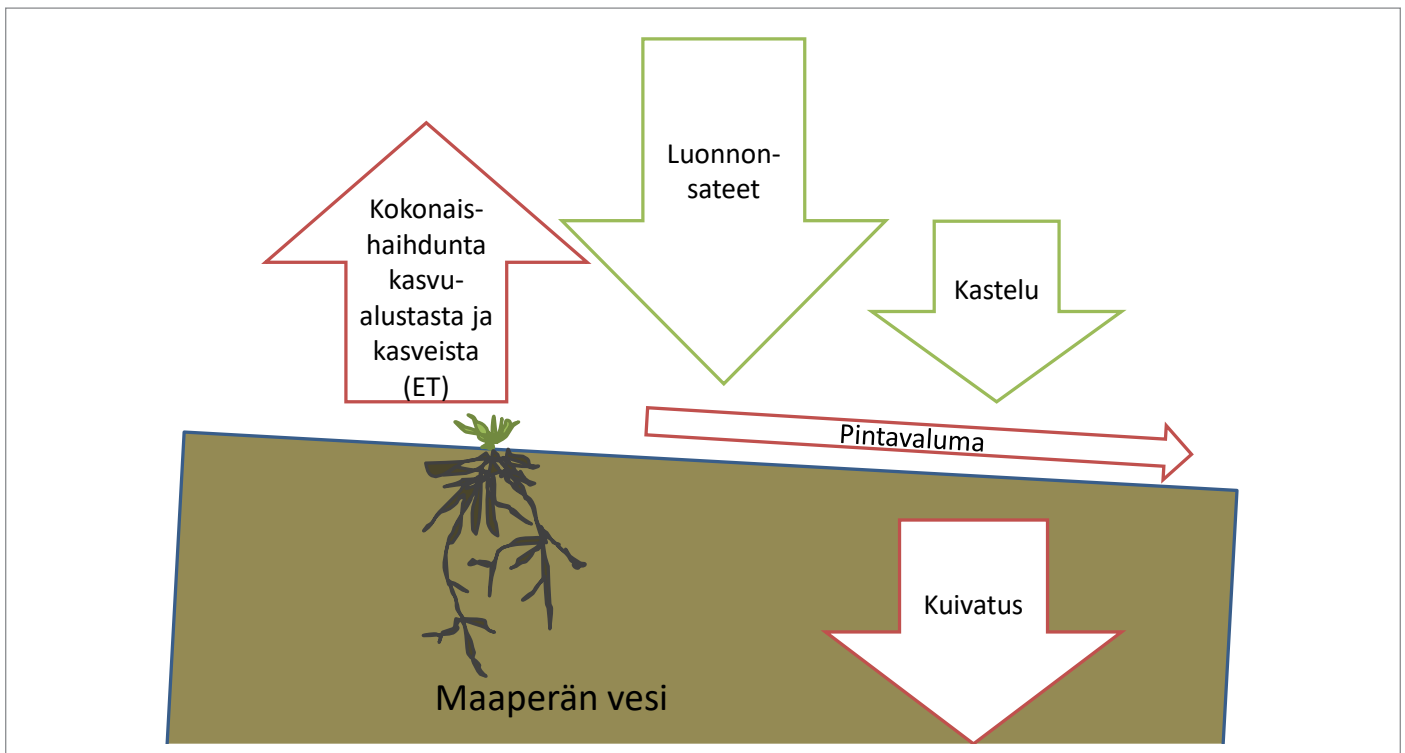
Trygve S. Aamlid

Tutkija/konsultti
agnar.kvalbein@bioforsk.no

Tutkimusjohtaja, urheilunurmet ja siementuotanto
trygve.aamlid@bioforsk.no

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|-----------|
| Esipuhe | 2 |
| Johdanto | 4 |
| Tausta | |
| Tämän oppaan käyttö | |
| Maaperän vesi | 5 |
| Pohjavesi | |
| Huokokset ja kapillaariset voimat | |
| Kenttäkapasiteetti | |
| Orsiveden pinta | |
| Kuinka suuret ovat kasvin vesivarannot maaperässä? | 8 |
| Viheriöt, joilla on orsivesi | |
| Väylät luonnollisella maaperällä | |
| Vesi kasveissa | 11 |
| Vedenotto ja veden liikuttaminen | |
| Ilmaraot ja haihtumisen kontrollointi | |
| Juuriston paine ja guttaatio | |
| Veden saatavuuden muut vaikutukset kasvilla | |
| Solujen elongaatio | |
| Lämpötilan kontrollointi | |
| Kasvitaudit | |
| Kuidun muodostus | |
| Juuriston kehitys | |
| Rikkakasvit | |
| Kokonaishaihdunta | 14 |
| Haihtumisastia: Haihtuminen avoimelta vesipinnalta | |
| ET-arvon laskeminen | |
| Eri heinälajien transpiraatio | |
| Kastelustrategiat | 18 |
| Kastelu maksimaalisen kasvun saavuttamiseksi | |
| Kastelu vedenkulutuksen vähentämiseksi ja paremman pelipinnan laadun saavuttamiseksi | |
| Viheriönopeus ja pelipinnan laatu | |
| Kastelu idätyksen ja kasvuston vakiinnuttamisen aikaan | |
| Hydrofobiset kasvualustat ja Hydrophobic soils and finger-flow | 20 |
| Paikalliset kuivalaikut | |
| Finger flow | |
| Kuinka välttää hydrofobisuuden syntymistä? | |
| Kastelu ja ravinteiden sekä kasvinsuojeluaineiden huuhtoutumisriski | 22 |
| Kastelun käytännössä | 23 |
| Kuinka aikatauluttaa kastelu? | |
| Vesitasapaino laskelmat | |
| Kasvualustan vesitilavuuden mittaaminen | |
| Kasvin kuivuusstressin suora mittaaminen | |
| Kastelun ajoitus | |
| Kastelu lyhyinä jaksoina | |
| Konkreettinen suositus alijäämäkasteluun | |
| Vakiinnettujen viheriöiden kastelu | |
| Väylien kastelu | |
| Esimerkki: Larvik GC, Norway | |
| Lähteet | 28 |



Kaavio 1. Maaperän vesitasapaino

JOHDANTO

Tausta

Vesi on rajallinen resurssi ja veden käyttöä koskevat ristiriidat uhkaavat taloudellista kehitystä ja poliittista vakautta. Golfkenttien vedenkulutus on suuri pinta-alaansa nähden ja kasteluveden tarjonta rajoittaa golfin kehitystä monissa osissa maailmaa. Vaikka sademäärä on Pohjoismaissa ylijäämäistä ja veden käyttöä rajoitetaan vähän, kasteluveden parempi ja tehokkaampi käyttö on yksi Skandinavian Turfgrass and Environment Research Foundationin (STERF) painopisteistä. (Strandberg et al. 2012)

Bioforskin urheilunurmientutkimuskeskuksessa vuosina 2009–2011 suoritettavat kenttäkokeet tarjoavat uutta tietoa eri heinälajien vedenkulutuksesta ja tieteellisen perustan veden säästämiseksi golfkentillä. ”Alijäämäkastelu”-niminen strategia edellyttää kuitenkin myös veden tasaisempaa jakautumista kuin nykyisellä golfkentän sprinkleriteknikalla tavallisesti saavutettu. Ellei uusia ja yhtenäisempiä kastelujärjestelmiä voida kehittää tai parempia lähestymistapoja hoitoon voidaan toteuttaa, vaatii alijäämäkastelu useimmissa tapauksissa lisäkastelua käsikastelulla.

Riittävä veden saatavuus on kriittistä nurmikasvien kasvu- ja kehitykselle. Kastelu voi ensi silmäyksellä näyttää olevan suhteellisen helppo tehtävä: se on vain vesivarantojen täyttämistä kasvien juurien ympärillä tarvittaessa. Jos kastelemme liikaa, ylijäämä valuu pintavalumana tai huuhtoutuu maaperän läpi (kaavio 1).

Kastelu on kuitenkin vaikeaa, jos tavoitteemme on tuottaa erinomainen pelipinta ja kauniit nurmikot tuhlaamatta energiaa ja vettä tavalla, joka ei edistä saastumista tai nurmen sienitautien kehittymistä. Kuivat paikat hiekkaisilla mailla tekevät kastelusta erityisen haastavaa monilla golfkentillä, etenkin niillä, joiden viheriöt on rakennettu USGA-spesifikaatiolla.

Tämän oppaan käyttö

Tämän käyttöohjeen ensimmäisissä luvuissa on yleiskuvaus maaperän ja kasvien veden suhteista. Pätevät lukijat, jotka haluavat lukea STERF:n tutkimushankkeesta saatavista uusista tiedoista, voivat ohittaa nämä kohdat ja aloittaa luvusta ”Kokonaishaihdunta heinälajeilla”, sivulta 14.



Kuva 1. Salaojaputket laskevat maaperän vedenpintaa. Kuva: Agnar Kvalbein

MAAPERÄN VESI

Pohjavesi

Maahan putoava sade joko ohjautuu pintavedeksi tai se tunkeutuu maaperään. Vesi liikkuu halkeamien ja huokosten läpi, kunnes siitä tulee osa pohjavettä. Pohjaveden ylempää tasoa kutsutaan pohjavedenpinnaksi. Tämän näemme, jos katsomme alas kaivoon. Pohjavedenpinnan alla kaikki huokokset ovat kyllästettyjä vedellä ja vesi voi liikkua sivusuunnassa kaltevassa maastossa.

Pohjavedenpinta on yleensä korkea alueilla, joilla sademäärä on korkeampi kuin kokonaishaihtuminen (ET), mikä on tyypillistä Pohjoismaissa. Koska kasvien juuret tarvitsevat happea, on tärkeää laskea vesipintaa. Tämä voidaan tehdä kaivamalla ja asettamalla rei'itetyt viemäriputket maaperään. Pohjavesi pääsee putkiin kaikilta puolilta ja johdetaan puoihin, avo-ojiin ja/tai muihin ulostuloihin.

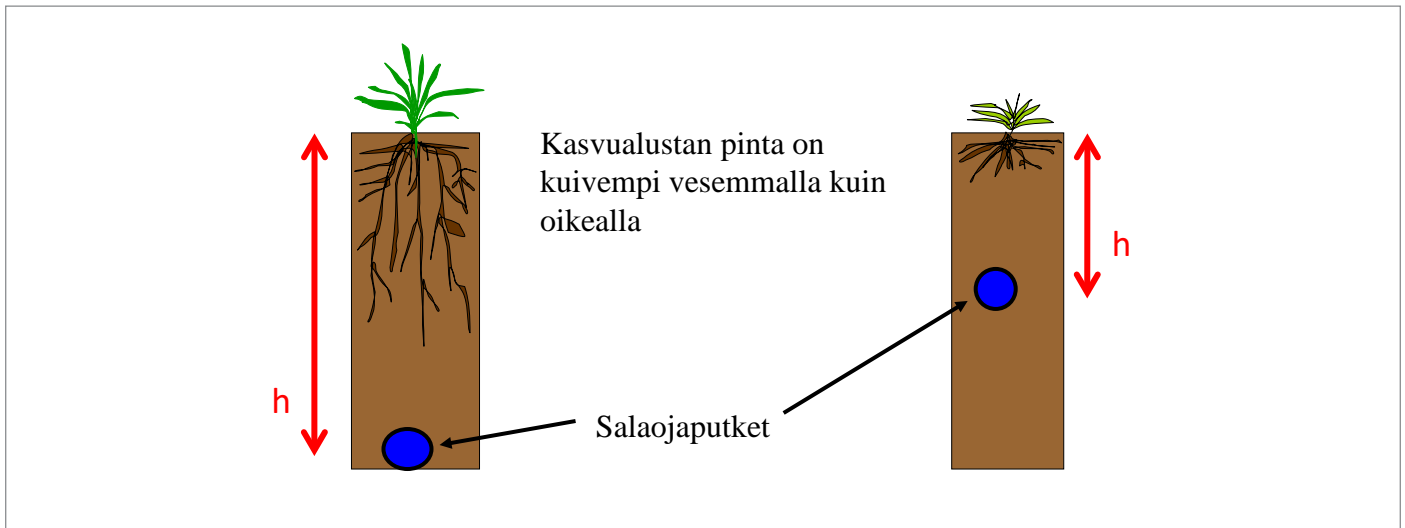
Pohjavesi voidaan helposti saastuttaa huonojen kastelunhoitokäytäntöjen avulla. Pohjaveden saastuttavat kemikaalit hajoavat hyvin hitaasti, koska ilmaa ei ole käytettävissä. Monissa osissa maailmaa pohjavesi on tärkeä juomaveden sekä maatalouskasvien ja nurmikon kastelun lähde.

Huokokset ja kapillaariset voimat

Pohjavedenpinnan yläpuolella oleva maaperä sisältää myös vettä. Kapillaarivoimat pitävät tätä vettä paikallaan. Kapillaarivoimat syntyvät, koska vesimolekyylit tarttuvat toisiinsa (koheesio) ja pintoihin (tarttuvuus). Hienorakeisella maaperällä, jolla on paljon pieniä huokosia ja suuria sisäpintoja, on korkea vedenpidätyskyky, kun taas karkearakeisella maalla, jolla on suuret huokokset, vesi valuu helpommin. Voimat, jotka vetävät vettä maaperän huokosista, ovat pääasiassa ylöspäin suuntautuva haihtuminen ilmakehään ja painovoima, joka vetää vettä alaspäin kohden pohjavedenpintaa. Vesi liikkuu myös vaakasuorassa märiltä kuiville alueille.

Vesi imetään suuresta huokosesta, siitä pohjavedenpintaan jatkuvan vesipylvään painosta johtuen. Mitä pidempi etäisyys pohjavedenpintaan on, sitä suurempi on imu. Siksi maaperä on kuivempaa, jos viemäriputket ovat syvällä maaperässä kuin jos ne ovat lähempänä pintaa (kaavio 2).

Vesi siirtyy avoimesta maaperästä ilmakehään haihtumisprosessin avulla, mutta nurmipeitteisellä maalla suurin osa vedestä liikkuu kasvien läpi transpiraatioissa. Transpiraatio luo kasvissa imun, joka vetää veden pois maaperän huokosista.



Kaavio 2. Salaojaputkien syvyyden tärkeys

Yhdistettyä maaperästä ja kasveista tapahtuvaa haihduntaa kutsutaan kokonaishaihdunnaksi (ET).

Mikrohuukokset, joiden halkaisija on alle 0,005 mm, sitovat vettä niin tiukasti, että kasvien juuret eivät kykene absorboimaan sitä. Maaperässä, jossa on paljon savihiukkasia tai hajonnutta orgaanista ainetta, on monia pieniä huokosia, jotka sisältävät huomattavan määrän vettä, vaikka kasvit ovat alkaneet jo lakastumaan. Tätä vettä kutsutaan käyttämättömissä olevaksi vedeksi. Imu kasvien lakastumispaikassaan on -1,48 MPa.

Kenttäkapasiteetti

Veden määrää, joka maaperällä on vapaan kuivatuksen jälkeen, kutsutaan usein kenttäkapasiteetiksi. Tämä on tärkeä maaperän luonne. Hiekkaisilla mailla, joissa on suurempia hiukkasia ja monia suuria huokosia, on pienempi kenttäkapasiteetti verrattuna savi- tai orgaanisiin maaperiin, joilla on pienempi matriisirakenne ja siten monia pieniä huokosia.

Kuten edellisessä osassa on esitetty, kenttäkapasiteetti riippuu myös viemäriputkien syvyydestä. Jos haluamme vertailla usean eri maaperän kenttäkapasiteettia, meidän on siksi käytettävä standardisoitua viemärikorkeutta. Yleisin kansainvälinen kenttäkapasiteetin määritelmä (θ_{fc}) on tilavuusprosentin vesipitoisuus prosentteina -33 kPa:n imulla (Soulis ym. 2011). Tämä vastaa tilannetta, jossa pohjavedenpinta on 3,4 metriä maanpinnan alapuolella, mikä ei ole kovin relevanttia pohjoismaisten olosuhteiden kannalta. Norjan maataloudessa on ollut yleistä määrittellä kenttäkapasiteetti 100 cm:n vesipatsaan (-9,8 kPa) imulla. Kun laboratoriossa määritetään vesipitoisuus golfviheriön kasvualustassa, käytetään usein 40 cm:n (-3923 kPa) viemärikorkeutta.

Maaperän veden imun (jännityksen) ja paineen mittaaminen

Maaperän fysiikkaa käsittelevässä kirjallisuudessa vedenpoiston (kuivatus) korkeus ilmaistaan yleensä logaritmisena arvona, jonka perustana on 10.

100 (10²) cm: n viemärikorkeus vastaa pF 2:ta. Jos hydrologisessa raportissa maaperän vesipitoisuus on pF 1,5 tai pF 3, arvot viittaavat viemärikorkeuteen 31,6 cm = 101,5 ja vastaavasti 1000 cm = 103 cm. Kasvit alkavat kuivua pF 4,18:lla, mikä vastaa 15135 cm: n vesipatsasta.

Oikea SI-yksikkö paineelle tai imulle (jännitykselle) on Pascal tai kilopascal, kPa. Paine ilmaistaan positiivisilla arvoilla ja imu negatiivisilla arvoilla. Arvot voidaan muuntaa cm-vesipatsasta kertoimella 10,2 cm = 1,0 kPa.

pF 4.18 = -15135 cm = -1480 kPa.

Toisin sanoen kasvit alkavat kuivua imun ollessa -1,48 MPa (megapascalia).



Kuva 2. Orsiveden pinta syntyy, kun hienompijakoista maa-ainesta laitetaan karkeajakoisemman maa-aineksen päälle. Kuva: Agnar Kvalbein.

Tämä saattaa tuntua hieman oudolta, koska kasvualustan syvyys USGA-spesifikaation viheriöllä on 30 cm, mutta Taylor ym. (1993) havaitsivat, että juurivyöhykkeen alla oleva salaojakerros antoi ylimääräisen vedenimun, joka vastasi noin 10 cm:n vesipatsasta. Tämän vahvistivat myöhemmin Bigelow et ai. (2001).

Teoreettisena käsitteenä kenttäkapasiteetti on melko epätarkka kuvaaja, koska sitä mitataan niin eri tavalla. Siihen vaikuttavat myös maaperän lämpötila, kuinka huokokset kylästyvät vedellä ennen kuin niiden annetaan valua ja monet muut tekijät. Käytännössä kenttäkapasiteetti on kuitenkin tärkeä määritelmä, jota tässä oppaassa käytetään ilmaisemaan tilannetta täydellisen kastelun tai pitkittyneen sateen jälkeen. Siksi käytämme seuraavaa yksinkertaista määritelmää: **kenttäkapasiteetti on maaperässä pidättyvän veden määrä tunnin kuluttua pitkäaikaisesta sateesta.**

Orsiveden pinta

USGA-spesifikaation viheriöt ja kalliit jalkapallokentät on rakennettu vaakasuoralla sorakerroksella hiekkapohjaisen kasvualustan alle. Sorakerrosta kutsutaan usein kuivatuskerrokseksi, mutta tämän kerroksen tarkoituksena ei ole vain kuivattaa vaan myös pidättää vettä kasvualustassa. Sora muodostaa niin sanotun orsiveden pinnan (kuva 2).

Ilmiön selitys on, että monien suurten huokosten sorassa oleva kapillaarivoima on heikko verrattuna monien pienten huokosten hiekkaan. Jos mitataan tilavuuden vesipitoisuus tällaisessa rakenteessa, havaitaan, että vesipitoisuus kasvaa alas sorakerrosta kohti. Kastelun jälkeen kasvualustan pohjassa olevat huokokset täyttyvät vedellä.

USGA-spesifikaation kasvualustat on rakennettava tarkoin määritellyillä kasvualustoilla. Jos huokokset ovat liian pieniä, ilmapitoisuus saattaa tulla liian alhaiseksi, mikä johtaa huonoon juuriston kehitykseen.

KUINKA SUURET OVAT KASVIN VESIVARANNOT MAAPERÄSSÄ?

Tähän kysymykseen ei ole helppo vastata, koska se vaihtelee paikasta toiseen paitsi vaakasuunnassa myös maaperän profiilin mukaan. Siksi sinun on mitattava tämä itse.

Viheriöt, joilla on orsivesi

Viheriöillä tai jalkapallokentillä, jotka on rakennettu orsivedenpinnan avulla, vesipitoisuus kasvaa kun mennään syvemmälle sorakerrosta kohti. Katso kaavio 3. Koska heinäkasvien juuret ovat kuitenkin suurimmillaan 5 cm:n pintakerroksessa, kuolleet juuret johtavat lopulta suurempaan orgaanisen aineksen pitoisuuteen ja siten suurempaan veden varastointikapasiteettiin pintakerroksessa. Ikääntyneillä viheriöillä 5 cm:n pintakerroksen vesipitoisuus on siten yleensä korkeampi kuin kuvassa 3 on esitetty.

Hiekkapohjaisilla viheriöillä, joissa on orsiveden pinta, juuriston syvyys on yleensä helppo määrittää, ja käytettävissä oleva vesi on vähäistä. Tämentyyppisille viheriöille olemme luoneet yksinkertaisen menetelmän kasvualustan kasvien käytettävissä olevan veden määrittämiseksi kenttäkapasiteetilla (kuva 3)

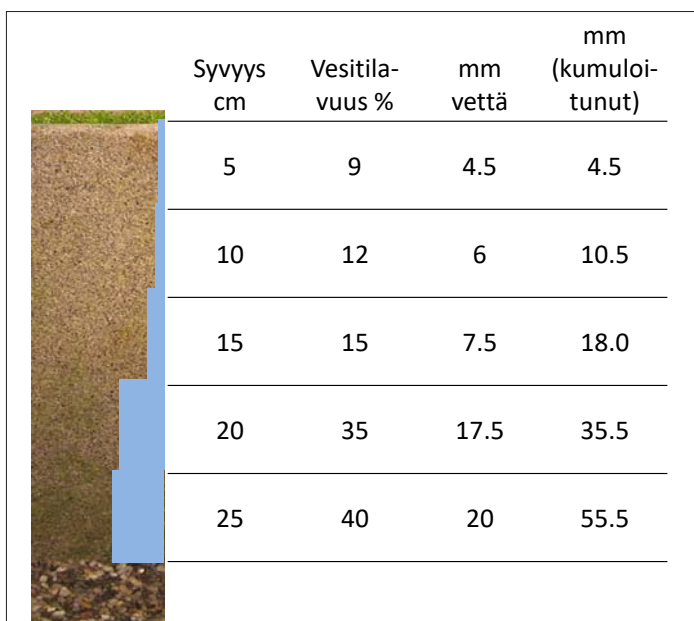
Väylät luonnollisella maaperällä

Luonnollisten maaperien vesipitoisuus vaihtelee huomattavasti. Hieno hiekka ja siltti pidättävät joskus niin paljon vettä, että niistä voi tulla epävakaita. Savissa tai maaperässä, jossa on paljon orgaanista ainetta, merkittävä osa vedestä on yleensä niin tiukasti sitoutunut maaperän hiukkasiin,

että kasvien juuret eivät voi ottaa sitä käyttöönsä. Tällaisissa tapauksissa käyttämättömissä oleva vesi on vähennettävä kokonaisvesipitoisuudesta määrittäessä kasvien vesivaroja. Tämä käyttämättömissä olevan veden määrä voidaan määrittää tarkasti analysoimalla häiriöttömät sylinterinäytteet laboratoriossa.

Väylillä juurisyvyyttä on myös vaikeampi määrittää kuin USGA-viheriöillä. Jotkut juuret tunkeutuvat syvälle maaperään, mutta emme tiedä kuinka tehokkaasti nämä juuret hyödyntävät vesivaroja syvemmällä.

Käytännöllisistä syistä oletamme, että kasvit pystyvät hyödyntämään vettä samalla syvyydellä kuin juurien näkyvä kehitys on. Taulukossa 1 esitetään arvio kasvien käytettävissä olevasta vedestä kenttäkapasiteetilla maaperässä, joilla on erilainen rakenne ja orgaanisen aineen pitoisuus. Tässä taulukossa otetaan huomioon myös juurien normaali kehitys eri maaperän tekstuureissa.



Kaavio 3. Maaperän vesipitoisuus eri syvyyksissä USGA-spesifikaation kasvualustassa, jossa on orsiveden pinta. Pintakerroksen pieneistä vesipitoisuudesta (vaalea väri) huolimatta kokonaisvesivaro on yli 50 mm. Eri kerrosten vesipitoisuudet perustuvat Bigelow ym. (2001) tutkimukseen, joka tutki uusia viheriöitä. Ikääntyneillä viheriöillä orgaanisen aineen kertyminen johtaa yleensä korkeampaan vesipitoisuuteen lähellä pintaa.

Taulukko 1. Kasville saatavilla olevan veden (mm) kenttäkapasiteetti erityyppisillä maa-aineksilla. (Riley et al.2013)

| Maaperän tyyppi | Orgaanisen aineksen pitoisuus (w/w) | | | |
|--|-------------------------------------|--------|---------|--------|
| | < 3% | 3-4.5% | 4.5-12% | 12-20% |
| Karkea hiekka | 50 | 50 | 50 | 70 |
| Keskihiekka | 50 | 50 | 70 | 70 |
| Hieno hiekka | 50 | 70 | 70 | 90 |
| Silttinen karkea hiekka | 50 | 50 | 70 | 70 |
| Silttinen keskihiekka | 50 | 70 | 70 | 90 |
| Silttinen hieno hiekka | 70 | 90 | 90 | 110 |
| Hiekkainen siltti | 90 | 110 | 110 | 130 |
| Siltti | 110 | 130 | 130 | 130 |
| Hiesu | 70 | 90 | 90 | 110 |
| Silttinen hiesusavi | 90 | 110 | 110 | 130 |
| Hiesusavi | 50 | 70 | 90 | 110 |
| Savi | 70 | 90 | 110 | 130 |
| Hiesu, jossa 20-40% orgaanista ainesta | - | - | - | 110 |
| Orgaaninen maaaperä (> 40% orgaanista ainesta) | - | - | - | 130 |



Kuinka määrittää viheriöidesi vesivarantojen suuruus?

Maaperän vesipitoisuus tulisi määrittää kenttäkapasiteetilla, ts. kun maaperässä on niin paljon vettä kuin mahdollista (tunti pitkäaikaisten sateiden tai kastelun jälkeen).

Paras aika vuodesta tehdä tämä mittaus on heinäkuussa, jolloin vedenkulutus on suuri ja juuret ovat suhteellisen lyhyitä maaperän korkean lämpötilan vuoksi.

Mittaa juurisyvyys syvimpään valkoiseen (= aktiivinen) juureen. Huomautus: Punanadalla on ruskeat juuret.

Ota vähintään yksi sylinterinäyte juurisyvyydestä jokaiselta viheriöltä ja laita se muovipussiin, jossa on viheriön numero.

Näyte punnitaan mahdollisimman pian ja kuivataan sitä uunissa 105 ° C:ssä 24 tuntia.

Punnitse kaikki näytteet kuivauksen jälkeen.

Vesipitoisuus senttimetreinä (cm) lasketaan painon pudotuksena (g) jaettuna (3,14 x r²), jossa r on sylinterin säde.

Kertomalla 10: llä saat kasvillesi käytettävissä olevan viheriön vesipitoisuuden juuriston syvyyden mukaisesti.



Kuva 3. Kasvualustan vesipitoisuus kasvaa lähestyttäessä salaojasorakerrosta USGA viheriöllä. Kuva:Agnar Kvalbein.

VESI KASVEISSA

Vedenotto ja veden liikuttaminen

Kasvi ottaa veden juurillaan. Heti juurikärjen takana olevat ohuet juurikarvat tunkeutuvat pieniin huokosiin ja muodostavat suuren juuripinta-alan, joka on kosketuksessa maaperän kanssa. Jotkut sienet elävät myös symbioosissa kasvien juurien kanssa ja muodostavat mykorritsa. Rihmat kasvavat kasvin juurista ja edistävät veden ja ravinteiden saantia. Siksi mykorritsa kutsutaan usein ”juurten juuriksi”. Vesi kuljetetaan ksyleemin läpi kasvin latvustoon. Nämä suonet ovat osa ”lehtien hermoja”, jotka näkyvät lehden pinnalla. Lehdissä vesi liikkuu soluista sisään ja ulos soluseinien ja -kalvojen kautta. Lehtisolujen välissä on avoimia solujen välisiä tiloja, joissa ilma on melkein kyllästetty vesihöyryllä.

Päiväsaikaan lehtiä ympäröivällä ilmalla on yleensä vesipula, toisin sanoen se ei ole saturoitunut. Vedenottoa ohjaa jatkuva imu ympäröivästä ilmasta kasvin läpi maaperään. Kasvien lehtien vesihäviötä kutsutaan *transpiraatioksi*.

Ilmaraot ja haihtumisen kontrollointi

Ruohonlehtiä ympäröi epidermi (iho), jossa on uloin kutikula (vahakerros). Lehtien molemmilla puolilla on kaasunvaihtoa helpottavia ilmarakoja (aukkoja) ja kutakin näistä aukoista ympäröi kaksi huulisolua. Kun huulisolujen paine (turvonaisuus) kasvaa, ilmaraot avautuvat ja vesihöyryä ja happea vapautuu ilmakehään. Samalla hiilidioksidipitoinen (CO₂) ilma pääsee lehteen. Vaihtoa ohjaavat erilaiset kaasupitoisuudet solujenvälisissä tiloissa ja lehtiä ympäröivässä ilmassa. Tämän tyyppistä pitoisuuseroista johtuvaa elementtien ”kuljetusta” kutsutaan *diffuusioksi*.

Koska hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä on melko pieni (tällä hetkellä 0,38 %), kasvit saavat vähän CO₂: ta vastineeksi kaikesta menetetystä vedestä. Koska CO₂ rajoittaa usein fotosynteesiä ja siten kasvien energiansaantia, veden ja hiilidioksidin vaihtamisen tehokas säätely on kasville erittäin tärkeää. Ilmarakoja ohjataan useilla mekanismeilla, jotka tarjoavat kohtuullisen tasapainon vesihävikin ja CO₂-oton välillä.

Pääasiallisesti on kolme mekanismia, jotka ohjaavat huulisolujen painetta ja siten ilmarakoja:

1. Rajoittamaton veden saatavuus tuottaa korkean paineen, kun taas korkeat transpiraatio määrät johtavat

veden menetykseen ja matalaan paineeseen. Toisin sanoen ilmarakojen liikkeitä ohjaa lehtien vesitasapaino.

2. Sokeria tuotetaan fotosynteesillä päivänvalossa. Sokeri alentaa huulisolujen osmoottista potentiaalia, mikä johtaa lisääntyneeseen vedenottoon ja siten ilmarakojen avautumiseen.
3. Kasvihormonia, abskissihappoa (ABA) tuotetaan juurissa kuivuusstressin aikana. Hormoni kuljetetaan lehtiin, missä se johtaa ilmarakojen sulkeutumiseen ja myöhemmin heikentyneeseen versojen kasvuun. Samalla stimuloidaan juurten kasvua.

Hiilidioksidin saanti on välttämätöntä kasvien energiantuotannossa. Fotosynteesiä ohjaa valo, mutta yleisesti CO₂-saatavuus rajoittaa prosessia. Valoenergian muuntamiseksi sokeriksi kasveilla on oltava riittävä pääsy veteen pitääkseen ilmaraot auki. Väliaikainen kuivuusstressi näkyy usein iltapäivällä kuumina kesäpäivinä, koska kasvin vedenotto ei pysy transpiraation tahdissa. Solujen vedenpaine palautuu yöllä ja ilmaraot avautuvat maksimiin, kun aamuvalo ilmestyy. Tämä on yksi syy siihen, miksi aamuvalo on tärkeämpää heinäkasveille kuin iltapäivän valo.

Juuripaine ja guttaatio

Kun ksyleemissä (johtosolukko) on imua – toisin kuin normaalitilanteessa – yhdistelmä korkeasta sokeripitoisuudesta juurissa ja vähäisestä lehtien läpi tapahtuvasta transpiraatiosta muodostavat ajoittain paineen juuriston johtosolukkoon. Tämä tapahtuu tyypillisesti tyyninä öinä, jotka seuraavat kirkkaita kesäpäiviä ja joina sokereita siirretään juuriin. Ruohonlehtien reunalla on hydatodeja (vesirako), ts. pieniä aukkoja, joista neste vapautuu pisaroina. Tätä ilmiötä kutsutaan guttaatioksi. Näitä vesipisaroita ei pidä sekoittaa kasteeseen, joka johtuu vesihöyryn kondensoitumisesta ilmasta viilleille pinnoille, mukaan lukien ruohonlehdet. Pienet määrät guttaatiovettä ovat usein varhainen merkki kuivuvista alueista nurmipinnalla.



Kuva 4. Tämä viheriö rakennettiin kahdella eri kasvualustalla. Kuivempi osa (edessä) oli helposti havaittavissa aamulla, koska siinä ei ollut guttaatiopisaraita. Guttaatiopisaroiden puute on usein varhainen varoitus kuivalaikkujen muodostumisen mahdollisuudesta. Kuva: Agnar Kvalbein.

Veden saatavuuden muut vaikutukset kasvissa

Olemme korostaneet, että riittävä veden saatavuus on tärkeää kasvien sokerituotannolle, koska se vaikuttaa hiilidioksidin assimilaatioon. Vesitalous vaikuttaa myös useisiin muihin prosesseihin, jotka voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia golfkentän pelipintojen laadulle.

Solujen elongaatio

Kasvisolun elongaatio (venymä) on suora vaste solun sisäiseen vedenpaineeseen (turvonaisuus). Kun solut vanhenevat, soluseinät jäykistyvät ja venymä loppuu. Huonon vesitalouden vallitessa paine laskee ja solut lyhenevät. Teoriassa voimme vähentää lehtien pidentymistä ja siten leikkuun tarvetta rajoittamalla kasvien vesitaloutta. Tämä on kuitenkin herkkä tasapaino, koska se vaikuttaa myös fotosynteesiin. Siksi on turvallisempaa hallita kasvua typpilannoitteella ja/ tai kasvien kasvun säätelijöillä kuin rajoitetulla vesihuollolla.

Lämpötilan kontrollointi

Veden höyrystyminen lehdistä on tärkeää pitämään lämpötilat alhaisina. Vedenpuutteen vuoksi solujen lämpötila

nousee. Respiraatio eli soluhengitys on prosessi, joka tapahtuu kaikissa elävissä soluissa ja kiihtyy lämpötilan noustessa. Jos ruohon pintaa ei pidetä viileänä höyrystyksellä, auringon säteily johtaa maaperän lämpötilan nopeaan nousuun. Sekä ruohonjuuriston, että maaperän mikro-organismien runsas soluhengitys johtaa yleensä korkeampaan hiilidioksidipitoisuuteen ja pienempään happipitoisuuteen kasvualustan ilmassa kuin ilmakehässä. Pahimmassa tapauksessa kasvien juuret voivat tukehtua. Yli 30 °C:n ilman lämpötilat aiheuttavat usein lämpöstressiä rajoittamattomasta veden saatavuudesta huolimatta. Tällaisissa tilanteissa kasvit alkavat menettää juuria, ja tämän välttämiseksi kentänhoitajat jäähdyttävät pintoja kastelemalla pienillä vesimäärillä keskellä päivää. Tämän tyyppisen kastelun, jota kutsutaan *sumutukseksi* (*syringing*), tarkoituksena ei ole lisätä juurien vedenottoa, vaan jäähdyttää pintaa lisäämällä haihdutusta. Lämpöstressi ja sumutustarve eivät kuitenkaan ole Pohjoismaissa suuri ongelma eteläisempiin maihin verrattuna. Tosin vastaavat ongelmat ovat lisääntyneet lähivuosien aikana.

Taulukko 2. Esimerkkejä kaksisirkkaisista rikkakasveista, jotka kilpailevat hyvin heinäkasveja vastaan erilaisissa vesitaloudellisissa olosuhteissa.

| Märissä kasvualustoissa ja kosteilla pinnoilla | Kuivissa olosuhteissa |
|---|--|
| Rentohaarikko (<i>Sagina</i>), <i>Sagina procumbens</i> | Siankärsämö, <i>Achillea millefolium</i> |
| Piharatamo, <i>Plantago major</i> | Voikukka, <i>Taraxacum officinale</i> |
| Rönsyleinikki, <i>Ranunculus repens</i> | Valkoapila, <i>Trifolium repens</i> |

Kasvitaudit

Suurin osa kasvitaudeista johtuu sienistä, jotka menestyvät kosteissa olosuhteissa. Monet lehtisairauksia aiheuttavat taudinaiheuttajat ja niiden itiöiden itäminen riippuvat lehtien pintojen kosteudesta. Siksi usein tapahtuva kastelu lisää tällaisten sairauksien riskiä.

Muut sairaudet hyökkäävät juuria vastaan ja estävät tehokkaan vedenoton. Tällaisissa tapauksissa toistuva kastelu voi lievittää oireita ja antaa tasaisemman pelipinnan. Take-all-patch eli mustatyvitauti (*Gaeumannomyces graminis*) on esimerkki tällaisesta taudista.

Kuidun muodostus

Kuitu syntyy kuolleiden ja elävien orgaanisten aineiden kasaantumisesta heinän varren ja juuren yhdistymiskohdan (crown) alapuolelle. Kuitu pidättää vettä kuin pesusieni, ja raskas tai toistuva kastelu voi pitää sen niin märkänä, että hapen puute haittaa orgaanisen aineksen hajoamista.

Kuitu ei ole tämän käsikirjan pääaihe, mutta on yleinen ja todistettu havainto, että runsas kastelu johtaa pehmeisiin viheriöihin ja huonolaatuiseen pelipintaan. Lisätietoja kuidusta ja kuidun kontrolloimisesta löytyy STERF:n käsikirjasta Luhtaröllistä (*Agrostis canina*) osoitteessa www.sterf.org

Juuriston kehitys

Vesitalouden ja juurien kehityksen välillä ei ole aina johdonmukaista suhdetta. Koska kaasun diffuusio on paljon hitaampaa vedessä kuin ilmassa, hapen diffuusiota kasvualustaan maaperään ja siten juuriston kehittymistä voi joskus vähentää märkä kuitukerros. Toisaalta juuriston kehittymistä harvemmin haittaa tiheä kastelu hyvin ilmastetulla ja kuivuvalla kasvualustalla. Kasteluprojektissamme kävi ilmi, että kuivuusstressit stimuloivat juurien kehitystä syvemmällä

kasvualustan profiilissa. Kuten jo osoitettiin, tämän vasteseen vaikuttaa todennäköisesti kasvihormoni-abskissihappo (ABA).

Kuivissa olosuhteissa kasvualustassa on myös enemmän ilmaa, mikä antaa juurille mahdollisuuden kasvaa syvemmälle, kun hapensaantia ei ole rajoitettu.

Rikkakasvit

Joillakin rikkaruohoilla on lyhyet juuret tai taipumus kehittää juuria kosteassa maaperässä. Kylänurmikka (*Poa annua*) on esimerkki lyhytjuurisista ruoholajeista, joista tulee kilpailukykyisempiä usein kasteltaessa. Muilla rikkaruohoilla on syvemmät juurijärjestelmät ja ne kilpailevat paremmin kylvettyjen ruohojen kanssa kuivissa olosuhteissa. Kolmas ryhmä on sammat. Niillä ei ole juuria, vain juurtumahapset (filamentit (säikeet), jotka kiinnittävät sammalen pintaan), ja niiden vedenotto tapahtuu vain lehtien kautta. Tiheät sateet tai kastelu johtavat todennäköisesti sammalen leviämiseen. Kuivina aikoina sammalilla on hyvä kyky selviytyä itiöinä, mutta niiden kilpailukyky on hyvin heikko.

KOKONAISHAIDUNNAN (ET) MÄÄRITTÄMINEN

Kasvustosta vapautuvaa vesimäärää kutsutaan kokonais-haidunnaksi (ET). Se on maaperästä tapahtuvan haihtu-misen ja kasvien transpiraation summa. ET-arvo ilmaistaan yleensä millimetreinä vettä päivässä (mm/päivä). Koska sademäärä mitataan myös millimetreinä / päivä, on yksin-kertaista luoda vesitasapaino kentällesi ottaen huomioon tulevan veden määrä (sateet ja kastelu) ja poistuvan veden määrä (ET).

Voimme laskea kastelun tarpeen pitämällä kirjaa sade-määrästä ja kokonaishaidunnasta. Kastelemme silloin, kun laskelmat osoittavat, että kasvualustassa on enää vähän vesivarantoja jäljellä. Sademäärä mitataan helposti käyttämällä paikallisesti sademittaria. Mutta miten saamme käyttökelpoi-set lukemat ET-arvolle?

Haidunnan suora mittaaminen avoimelta vesipinnalta

Aikaisemmin oletettiin, että kasvustosta peräisin oleva ET vastaa haihtumista avoimen veden pinnalta haihtumismittarista (Haihdutusastia), joka oli kaivettu maaperään, yleensä lyhyeksi leikatulla nurmikasvustolla. Tällaiset astiat olivat tyypillisesti noin 50 cm syviä, halkaisijaltaan 60–80 cm, ja ne oli varustettu viivaimella, jonka avulla käyttäjät voivat mitata päivittäistä haihtumista avoimen veden pinnalta. Tällaiset astiat vaativat manuaalista arvojen analysointia, päivittäistä huoltoa ja veden täyttämistä, ja niitä tuskin enää käytetään.

Kokonaishaidunta-arvon laskeminen (ET₀)

Kaikille heinälajeille yhteinen vakio meteorologinen viite-arvo (ET₀) voidaan laskea matemaattisesti säähavaintojen perusteella. Aurinkosäteily, lämpötila, tuuli ja kosteus ovat tekijöitä yhtälöissä, jotka määrittävät päivittäiset ET₀-arvot. Yleisimmin käytetty yhtälö on nimetty kahden tutkijan mukaan: Penman-Monteith.

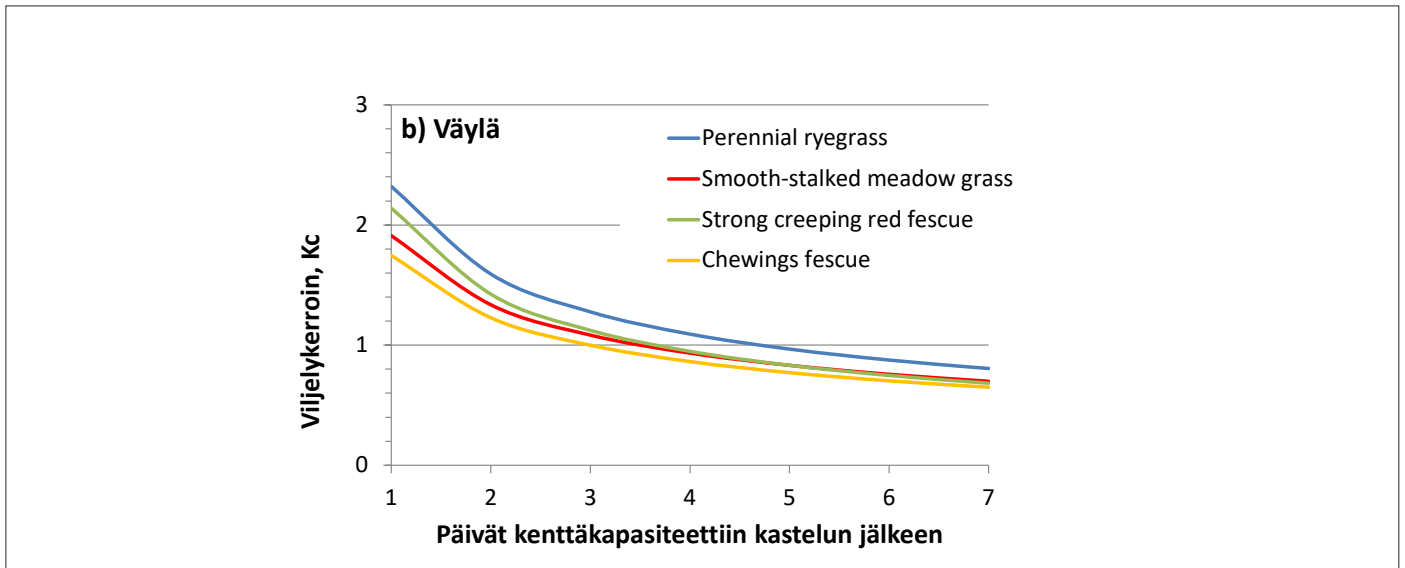
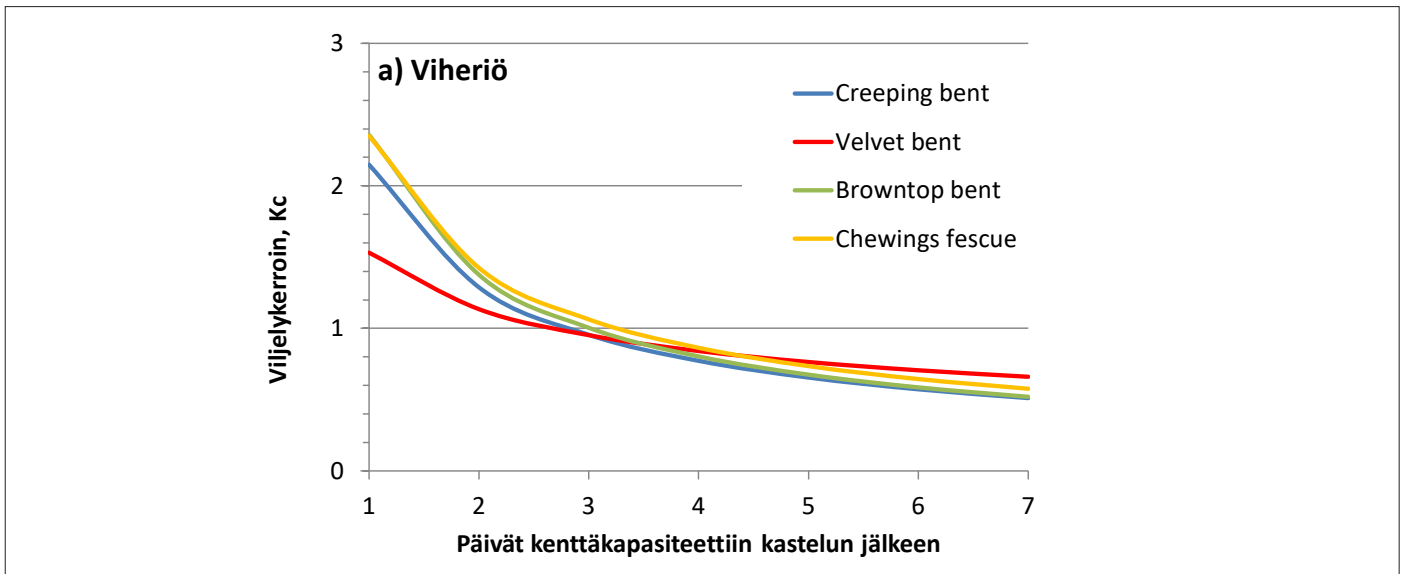
Päivittäisiä ET₀-arvoja laskevat monet sääasemat. Koska ET₀-arvo ei vaihtele paljoa alueellisesti, voit normaalisti käyttää arvoa lähimmältä asemalta. Karkeana yksinkertaistuksena voimme sanoa, että ET₀ on 3–4 mm hyvinä kesäpäivinä Pohjoismaissa. Sademäärät vaihtelevat paikallisesti huomattavan paljon enemmän etenkin kesällä ja sademäärät ovat siksi mitattava paikallisesti golfkentällä. Monet kastelujärjestelmien toimittajat tarjoavat sääasemia, jotka mittaavat sateet ja laskevat ET₀-arvon automaattisesti.



Kuva 5. Sääasema, joka laskee kokonaishaidunnan (ET₀) lämpötilan, auringon säteilyn, tuulen nopeuden ja suhteellisen kosteuden perusteella voidaan liittää osaksi kastelujärjestelmää (Kuva: Agnar Kvalbein).

ET₀

Jotkut määrittelevät ET₀:n vesihäviöksi lyhyeksi leikatusta nurmikasvustosta, joka on tautivapaa ja kasvuolosuhteet ovat optimaaliset. ET₀:n laskemiseksi on olemassa myös monia muita määritelmiä ja yhtälöitä. Tämä on usein hämmentävää ja vaikeuttaa eri julkaisujen ET₀-arvojen vertailua. Tämän oppaan perustana olevassa projektissa ET₀ laskettiin käyttäen FAO:n (YK:n maatalousjärjestö) modifioitua versiota Penman-Monteith-yhtälöstä.



Kaavio 4. Viljavuuskerroin eri heinälajeilla, jotka on leikattu 3–5 mm USGA viheriöllä ja 15 mm väylällä esitettynä päivien lukumäärän funktiona kun on maaperä on kasteltu täyteen kenttäkapasiteettiin.

Eri heinälajien transpiraatio

Kokonaishaidunta vaihtelee eri kasvilajien välillä. Esimerkiksi koivumetsän ET on korkeampi kuin nurminiityn. Mutta kuinka paljon vettä lyhyeksi leikattu nurmikasvusto käyttää? Tämä mitattiin Bioforskilla vuosina 2009 ja 2010. Tulokset olivat yllättäviä, ja projektista saatu uusi tieto antaa meille mahdollisuuden säästää vettä älykkäällä kastelulla. Palaamme tähän myöhemmässä luvussa.

ET_0 :n muuntamiseksi nurmikasvustosta todelliseen ET:hen on käytettävä muuntokerrointa. Tätä kerrointa kutsutaan k_c :ksi (satokerroin) ja todellista sadon ET:tä kutsutaan ET_c :ksi:

$$ET_c = k_c * ET_0$$

Jokaiselle kasvilajille on k_c -arvo, ja on otettava huomioon myös kasvien korkeus ja kehitysvaihe. Usein oletetaan, että viileän kauden lyhytaikaisten ruohojen k_c on 0,80-0,85 (esim. McCarty 2011). Tämä tarkoittaa, että nurmikasvustosta saatu todellinen ET on hieman pienempi kuin sääsemin laskema viitearvo.



Tutkimuksemme ei ole kiistänyt tätä, mutta se ei myöskään ole aivan niin yksinkertaista. havaitsimme, että ruohokasveilla, joilla on rajoittamaton veden saatavuus, on paljon korkeampi transpiraatio kuin kuivilla mailla kasvavilla kasveilla. Vedenkulutus ensimmäisenä päivänä kenttäkapasiteettiin kastelun jälkeen on kaksi tai kolme kertaa suurempi kuin seuraavan viiden päivän keskimääräinen kulutus. Siten satokerroin (k_c) on ilmaistava kasvualustan vesipitoisuuden funktiona. Kaavio 4 näyttää kuinka k_c vähenee päivien edessä kauemmaksi kenttäkapasiteettiin kastelun jälkeen.

Karkeana arvioina voidaan sanoa, että kaikki Pohjoismaiden golfkentillä käytetyt ruoholajit käyttävät saman määrän vettä. Jos tarkastelemme hieman enemmän yksityiskohtia, tiheämpi kasvusto johtaa pienempään vedenkulutukseen. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että ilmankierto on vähäisempää ja siten suhteellinen kosteus on korkeampi kasvustossa.

Monet kentänhoitajat uskovat, että punanata (*Festuca rubra*) kuluttaa vähän vettä. Tämä on totta väylillä, joilla punanadalla on suuri versotiheys muihin lajeihin verrattuna, mutta ei viheriöillä. Punanata kilpailee paremmin niittyurmikkaa (*Poa pratensis*) ja kylänurmikkaa vastaan kuivilla alueilla, ensisijaisesti sen syvemmästä juurijärjestelmästä johtuen eikä vähäisemmästä veden kulutuksesta.

Luhtarölli eroaa muista lajeista siinä, että se kuluttaa vähemmän vettä heti alkuvaiheessa, kun kasvualustan vesivarannot on täytetty kenttäkapasiteettiin (kuva 4a). Olemme myös huomanneet, että luhtarölli säilyttää vihreän värinsä kauemmin kuivina jaksoina verrattaessa muihin viheriöillä käytettäviin heiniin. Luhtaröllillä on erittäin suuri versotiheys ja voi olla myös muita syitä, jotka vaikuttavat tämän lajin alhaiseen vedenkulutukseen.

Väylillä käytetyistä heinälajeista raiheinä (*Lolium perenne*) kuluttaa eniten vettä (kaavio 4b). Suurelta osin tämä selittyy raiheinän syvemmällä juuristolla verrattaessa kylänurmikkaan, niittyurmikkaan tai punanataan.

Taulukko 3 antaa kaavion 4 k_c -arvojen perusteella arvion viheriöillä ja väylillä yleisimmin käytettyjen heinälajien veden kulutuksesta viikon ajanjaksolla. Kokeilumme osoittivat, että lajit, jotka käyttivät vähiten vettä, olivat luhtarölli viheriöillä ja puistonata (*F. rubra* ssp. *Communtata*) väylillä.

Taulukko 3. Suhteellinen viikoittainen vedenkulutus Pohjoismaisilla viheriöillä ja väylillä yleisimmin käytettyjen heinälajien /alalajien välillä. Arvot lasketaan kuvion 4 k_c -funktioista ja olettaen, että ET_0 on 3 mm päivässä. Ainoana sekä viheriöillä, että väylillä testatun heinälajin, puistonadan 'Center', suhteellinen vedenkulutus on asetettu arvoon 100. Viheriön suurempi veden kulutus verrattaessa väylään johtuu oletuksesta, että viheriötä kasteltiin kenttäkapasiteettiin kahdesti viikossa, kun taas väylä kasteltiin kenttäkapasiteettiin kerran viikossa. Jokainen kussakin sarakkeessa oleva sama kirjain osoittaa, että veden kulutus ei ollut merkittävästi erilainen ($P < 0,10$ merkityksellisyystaso).

| | Viheriö | Väylä |
|---|---------------|---------------|
| Luhtarölli - Velvet bentgrass 'Legendary' | 76 b | - |
| Rönsyrölli - Creeping bentgrass 'Independence' | 91 a | - |
| Nurmirölli - Browntop bentgrass 'Barking' | 99 a | - |
| Puistonata - Chewings fescue 'Center' | 100 = 32 mm a | 100 = 23 mm b |
| Niittyurmikka - Smooth stalked meadow grass 'Limousine' | - | 104 b |
| Punanata - Strong creeping red fescue 'Celianna' | - | 110 ab |
| Englanniraiheinä - Perennial ryegrass 'Bargold' | - | 117 a |



Kuva 6: Hauger GC, Oslo. Kuva: Agnar Kvalbein

KASTELUSTRATEGIAT

Seuraava keskustelu perustuu Bioforsk Landvikissä Norjassa vuosina 2010 ja 2011 tehtyihin kenttäkokeisiin. Eri strategioita verrattiin neljän kuivuuksjakson aikana, jolloin luonnonsaateet eliminoitiin käyttämällä siirrettäviä sadesuojia. Kastelua kenttäkapasiteettiin verrattiin alijäämäkasteluun, kun taas kastelutiheys vaihteli päivittäin/viikoittain välillä viheriöillä ja kahdesti viikossa/kymmenen päivän välein väylillä.

Kastelu maksimaalisen kasvun saavuttamiseksi

Kasvit, joilla on rajoittamaton veden saatavuus, kasvavat nopeasti, koska solut ovat turvonneita ja ilmaraot ovat auki suurimman osan päivästä. Jos tarvitaan suurta kasvunopeutta, nurmikko on kasteltava usein ja kasvualusta on pidettävä lähellä kenttäkapasiteettia.

Tätä strategiaa sovelletaan nurmikolle perustamisen aikana ja keväällä, kun talvivaurioiden jälkeen tarvitaan nopeaa palautumista (korjaantumista). Tämä kastelustrategia johtaa kuitenkin liialliseen vedenkulutukseen, ja on myös pidettävä mielessä, että ravinteiden huuhtoutumisriski on paljon suurempi, kun nurmipeite on harvaa ja kasvualustan lämpötilat ovat alhaiset. Siksi on erityisen tärkeää, että tämä kastelustrategia yhdistetään tiheästi tapahtuvaan lannoitukseen pienillä määrillä.

Kastelu vedenkulutuksen vähentämiseksi ja pelipinnan laadun parantamiseksi

Havainto, että nurmen vedenkulutus on kasvualustan vesipitoisuuden funktio, muodostaa perustan merkittävälle vesisäästöille golfkentillä. Välttämällä usein tapahtuvaa kastelua kenttäkapasiteettiin voimme vähentää vedenkulutuksen alle puoleen verrattuna päivittäiseen kenttäkapasiteettiin kaste-

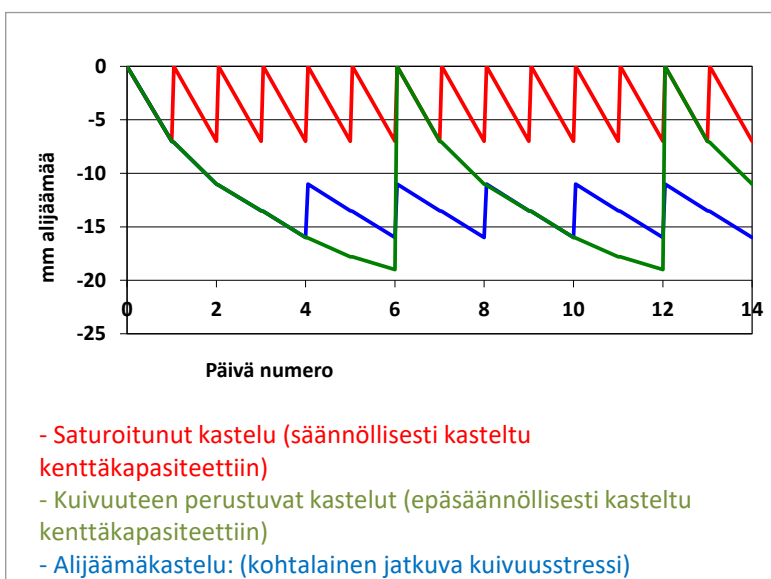
luun. On kuitenkin olemassa raja, kuinka pitkälle voimme antaa kasvualustan kuivua tinkimättä kasvuston laadusta. Tämä pätee erityisesti hiekkapohjaisiin kasvualustoihin, joilla on suuri riski kuivalaikkujen kehittymiselle (katso myöhempi luku).

Landvikin kokeessa kasvuston visuaalinen korkein laatu havaittiin koalueella, jotka kasteltiin 70 prosenttiin kenttäkapasiteetista kuusi kertaa viikossa, mutta erot koalueista, jotka kasteltiin kenttäkapasiteettiin kahdesti tai kuusi kertaa viikossa, olivat pieniä eivätkä merkittäviä (taulukko 4). Kaksi ensiksi mainittua toimenpidettä tuottivat kovemmat viheriöpinnat eli ts. paremman pelipintojen laadun verrattuna siihen, kun kasteltaessa kenttäkapasiteettiin kuudesti viikossa. Kerran viikossa tapahtuneen kastelun todettiin olevan liian harvaa, ja se johti useiden kuivalaikkujen muodostumiseen etenkin, jos kostutusainetta ei käytetty.

Vedenkulutus 63 päivän testijakson aikana vaihteli 358 mm:stä (kastelu kenttäkapasiteettiin kuusi kertaa viikossa) vain 106 mm:iin (alijäämäkastelu vain kerran viikossa) (taulukko 5). Kuusi kertaa viikossa kasteltu nurmikko sai 123 mm. Tämä tarkoittaa vedenkäytön säästöä, joka vastaa 66 %.

Viheriönopeus ja pelipinnan laatu

Pelipinnan laatua kuvaavat tärkeimmät kolme parametria ovat johdonmukaisuus, nopeus ja pinnankovuus (kiinteys). Viheriön erinomainen johdonmukaisuus tarkoittaa, että pallo ei pompi puolelta toiselle, vaan seuraa johdonmukaista linjaa sinne, minne voit odottaa pallon liikkuvan viheriön pinnanmuotojen perusteella. Kastelustrategian vaikutus tähän ominaisuuteen on vähäinen viheriöillä, joilla on tasainen nurmipeite. Vaikka kylänurmikkaa ei koskaan lähtökohtaisesti kylvetä, on se usein vallitseva heinälaji monilla viheriöillä. Tällaisilla viheriöillä johdonmukaisuutta



Kaavio 5. Esimerkki kolmesta pääasiallisesti erilaisesta kastelustrategiasta

Taulukko 4. Erilaisten kastelun ajoitusstrategioiden vaikutukset, jotka perustuvat vuonna 2011 tehtyihin kastelukokeisiin rönsyrölli (Independence) viheriöllä. Viheriö kasteltiin joko kenttäkapasiteettiin tai noin 70 prosenttiin kenttäkapasiteetista eri aikaväleihin. Jokainen kussakin sarakkeessa oleva sama kirjain osoittaa, että veden kulutus ei ollut merkittävästi erilainen ($P < 0,10$ merkityksellisyytaso).

| Kastelustrategia | Visuaalinen kasvuston laatu (1-9) | Kuivalaikuja % Testialueesta | Päivittäinen pituuskasvu (mm) | Viheriönopeus, mitattuna lyhyellä stimp-meterillä (cm) | Pinnankovuus, mitattuna Clegg-hammerillä (gravitaatio) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 1. Kenttäkapasiteetti, 6xviikossa | 6.3a | 6 b | 0.9 a | 100 a | 71 c |
| 2. Kenttäkapasiteetti, 2xviikossa | 6.1 a | 6 b | 0.9 a | 102 a | 74 bc |
| 3. Kenttäkapasiteetti, 1xviikossa | 5.4 ab | 13 ab | 0.8 a | 100 a | 79 b |
| 4. Alijäämä, 6 x viikossa | 6.4 a | 8 b | 0.9 a | 101 a | 76 bc |
| 5. Alijäämä, 2 x viikossa | 5.8 ab | 11 b | 0.9 a | 100 a | 75 bc |
| 6. Alijäämä, 1 x viikossa | 4.9 b | 27 a | 0.8 a | 103 a | 85 a |

Taulukko 5. Rönsyröllin (Independence) vedenkäyttö eri kastelustrategioilla Vioforsk Landvikin viheriöllä vuonna 2011. Kumuloitunut referenssi-ET 63 päivän ajanjakson aikana oli 174 mm.

| Kastelustrategia | Vedenkulutus koejakson aikana (63 päivää) | Vedenkulutus suhteessa päivittäiseen kenttäkapasiteettiin kasteluun |
|-----------------------------------|---|---|
| 1. Kenttäkapasiteetti, 6xviikossa | 358 | 100 |
| 2. Kenttäkapasiteetti, 2xviikossa | 233 | 65 |
| 3. Kenttäkapasiteetti, 1xviikossa | 173 | 48 |
| 4. Alijäämä, 6 x viikossa | 123 | 34 |
| 5. Alijäämä, 2 x viikossa | 127 | 36 |
| 6. Alijäämä, 1 x viikossa | 106 | 30 |

vähentää usein kylänurmikan runsas kukinta keväällä, ja kuivien olosuhteiden myötä kylänurmikan taipumus kukkia voimistuu yleensä. Tämä aiheuttaa dilemman, koska pitkällä aikavälillä rajoitettu kastelu vähentää yleensä kylänurmikan vuotuista populaatiota, koska tällä lajilla on matalampi juuristo kuin muilla heinälajeilla. Viheriöpinnan nopeus (viheriönopeus tai stimp-meter-arvo) kasvaa yleensä, jos viheriön annetaan kuivua, mutta tämä heikentää kasvustoa, eikä sitä voida suositella osana päivittäistä kentänhoitoa. Erilaiset kastelustrategiat eivät vaikuttaneet viheriönopeuteen rönsyrölliviheriöllä (*Agrostis stolonifera*) kokeessamme (taulukko 4)

Laatuparametri, johon kastelu vaikuttaa eniten, on pinnan kovuus. Viheriöpinnan kovuus korreloi pallonjalkien syntymisen riskin kanssa ja määrittää, kuinka pitkälle pallo pomppaa tai rullaa laskeutuessaan viheriölle. Kuten taulukosta 4 käy ilmi, viheriöpinnan kovuuteen vaikuttavat sekä kastelutiheys että veden kokonaiskäyttö.

Kastelu idätyksen ja kasvuston vakiinnuttamisen aikana

Kylvön jälkeen meidän on valittava kastelustrategia siementen itävyyden ja taimien kasvun vaatimusten täyttämiseksi. Siemen itää vain kerran ja pienet taimet ovat hyvin alttiita kuivumiselle sen jälkeen, kun juuri on puhkonut siemenen kuoren. Rönsyröllin (*Agrostis sp.*) -siemenet ovat hyvin pieniä, joten ne ovat sijoitettava enintään 5 mm:n päähän maanpinnasta. Kylväminen lähellä pintaa lisää tuulikuivumisriskiä ja aurinkoisina päivinä saattaa olla tarpeen kastella

muutama millimetri joka toinen tunti pinnan pitämiseksi kosteana. Tilannetta monimutkaistaa se, että monet sprinklerit levittävät usein melko suuria pisaroita, jotka voivat helposti siirtää siemenet paikoiltaan ja/tai pestä hiekan pois siemenen päältä. Mikäli ajalliset resurssit sallivat, käsikastelu letkulla ja hienolla suuttimella on suotavaa. Vasta kylvetyn alueen peittäminen läpäisevällä, kosteutta pidättävällä ja kylvöstä suurenergisiltä pisaroilta suojaavalla harsolla on hyvä strategia, mutta on tärkeää poistaa harso heti, kun kylvökset ovat näkyvissä, jotta saadaan vahvoja kasviyksilöitä.

Talvivauriot johtavat usein kuolleisiin laikkuihin/alueisiin, joita ympäröi elossa oleva kasvusto. Tämä aiheuttaa dilemman kastelustrategian valinnalle, koska säännöllinen sprinklerikastelu ei ole vain välttämätöntä siementen itämisen ja taimien kasvun kannalta aukkokohtissa, vaan se johtaa myös kasvuun ja kilpailuun ympäröivällä nurmella. Tämä puolestaan lisää leikkuutarvetta, mikä voi olla haitallista uusille taimille. Paras ratkaisu tähän ongelmaan on kastella paikkokylvetyt paikat manuaalisesti kriittisen itämisen aikana.

Myös hiljattain siirtonurmetetut alueet tarvitsevat kastelua usein kuivumisen ehkäisemiseksi, mutta yleensä pari kertaa päivässä riittää. Kaikki siirtonurmet sisältävät kuitua, ja jos tämä on tiheää, suuret vesimäärät voivat vähentää kaasujen vaihtumista ja aiheuttaa ongelmia juuriston kasvuun. Huolellinen ilmastus tai viiltoilmastus heti, kun nurmikko kestää toimenpiteen voi olla tarpeen, jos juuren kehitys pysähtyy siirtonurmetuksen jälkeen.



Kuva 7. Syitä kuivalaikkujen muodostumiselle: A. Kasvualustan erilaiset tasot ja paksuus johtivat kuivalaikkujen muodostumiseen vasemmanpuoleisessa kuvassa, B. Vesi liikkui hienompirakeiseen kasvualustaan viheriön ympärillä kapillaaristen voimien takia, C. Sorakerros päättyi, esimerkiksi kasvialustan ja luonnollisen maaperän kontaktin syntyessä, D. Voileipäilmiö, esimerkiksi paksu dressauskerros estää vedenläpäisyn. Kuvat: Agnar Kvalbein.

HYDROFOBISET KASVUALUSTAT JA FINGER FLOW

Paikalliset kuivalaikut

Paikalliset kuivalaikut ovat yleisiä golfkentillä ja erityisesti niillä, jotka on rakennettu hiekkaiselle kasvualustalle. Tämä ilmiö on tunnettu pitkään, mutta silti vakavat ongelmat kasvialustan alkaessa hylkiä vettä (hydrofobisuus) vaikuttavat yllättävän urheilunurmien hoitajat.

On hyvin dokumentoitu, että vahamaisia aineita muodostuu orgaanisen aineen hajoamisen aikana (Doerr et ai. 2000). Nämä aineet tarttuvat kuitukerroksessa ja sen alla olevien hiekanjyvien pintaan. Niin kauan kuin kasvialusta on märkä, ei ole mitään ongelmaa, mutta maaperä tulee vettä

hylkiväksi, jos se kuivuu kriittisen vesipitoisuuden alapuolelle. Kokemuksemme mukaan tämä raja on välillä 7-9 % (v / v) hiekkapohjaisilla vihreillä. Jos maaperä kuivuu tämän rajan alapuolelle, siitä tulee hydrofobista, mikä tarkoittaa, että sitä on erittäin vaikea kastella uudelleen ja se on tila, joka voi kestää kauan.

Huono kastelujärjestelmän kattavuus ja tehokkuus johtaa usein hydrofobisuuteen, mutta syitä voi olla myös monia muita. Kuivalaikkua havaitaan usein:



Kuva 8. Vakavia kuivalaikkuja vasemmalla olevalla viheriöllä. Vesi on läpäissyt pinnan vain vihreänä näkyvissä laikuissa. Tämä näkyy tarkemmin oikeanpuoleisessa kuvassa. Tätä ilmiötä kutsutaan ”finger-flowksi”. Kuva vasemmalla: Terje Haugen. Kuva oikealla: Agnar Kvalbein.

- kummuilla tai voimakkaasti muotoiltujen viheriöiden korkeimmissa kohdissa
- hiekkapohjaisten viheriöiden reunoilla, jossa vesi liikkuu hiekasta ympäröivään maaperään kapillaarivoimien vuoksi
- kohdissa, joissa kasvualusta ja sorakerroksen alla oleva maaperä ovat kosketuksissa (USGA-viheriöt)
- viheriön osiin, joissa kasvualusta on suositeltua paksumpaa
- missä dressaus on ollut niin epäsäännöllistä, että kuitukerros on kuin voileipä, jossa on erilliset kerrokset hiekkaa ja orgaanista ainetta.

Kuivalaikkuja esiintyy myös väylillä, mutta harvoin savimailla.

Hydrofobisuutta mitataan yksinkertaisella testillä: $WDPT = \text{Water Droplet Penetration Time}$ (=Vesipisaran läpätunkeutumisaika). Vesipisarot pudotetaan eri syvyyksille sylinterinäytteelle (maanäyte) tai suorakulmaiselle näytteelle (profiilikaira) sekä heti näytteenoton jälkeen kentällä, että sen jälkeen, kun näytteen on annettu kuivua 48 tuntia huoneenlämpötilassa. Näitä parametreja kutsutaan todelliseksi ja mahdolliseksi hydrofobisuudeksi.

Finger flow

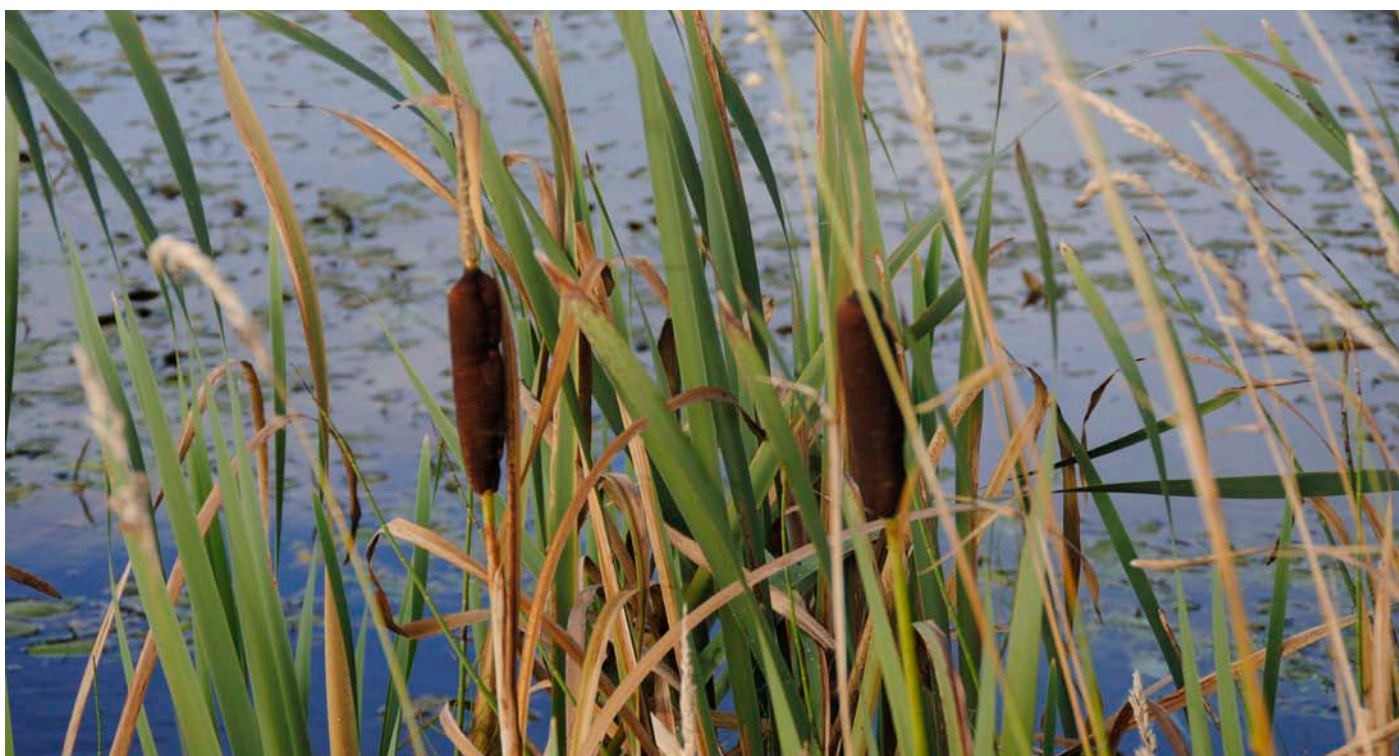
Toinen hydrofobisuuden seuraamus on, että vesi virtaa epätasaisesti kasvualustan läpi. Vesi tunkeutuu helpoimmin märkien alueiden läpi, ja jos ympäröivä kasvualusta on hydrofobista, vesi kulkee vain kostean ”kanavan” läpi. Tätä ilmiötä kutsutaan ”finger flowksi” (sormivirtaus). Finger flow johtaa kasvuston epätasaisuuteen ja se lisää myös merkittävästi ravinteiden ja torjunta-aineiden huuhtoutumisriskiä, etenkin viheriöillä, joilla pieni kasvualustan orgaanisen aineksen pitoisuus (Larsbo ym. 2008).

Kuinka välttää hydrofobisuutta?

Toivomme, että voisimme osoittaa yksinkertaisia menetelmiä kuivalaikkuongelmien poistamiseksi, mutta valitettavasti emme pysty siihen. Laadukas kuidun hallinta heti ensimmäisestä päivästä golfkentän perustamisen jälkeen on tärkeää kerrostumisen (layering) välttämiseksi. Kun ongelma on jo ilmeinen, viheriöiden kasvualustaan voidaan lisätä hieman savea. Erittäin pienten savihiukkasten suuri pinta-ala antaa veden ”tarttua” sen pinnalle. Savipartikkelit voidaan sulauttaa kasvualustaan kastelemalla.

Hydrofobisen kasvualustan negatiivisia vaikutuksia voidaan myös vähentää käyttämällä kostutusaineita. Kostutusaineet toimivat kuin saippua ja muodostavat sillan hydrofobisten vahamaisten aineiden ja vesimolekyylien välille. Tällä tavoin vesi jakautuu tasaisesti kasvualustaan. Kastelukokeissamme löysimme eniten kuivalaikkuja koalueelta, joilla oli pisin kasteluväli, mutta sama voi tapahtua alijäämäkastelustrategiaa käyttämällä ja tiheällä kasteluvälillä, jos vesi ei jakaannu tasaisesti viheriölle. Jos kastelujärjestelmän toiminta ei ole riittävän tasalaatuista, tiettyjen alueiden liian kuivumisen riski kasvaa, kun vedenkäyttö vähenee. Tästä syystä vähempi kasteluväli vaatii usein enemmän kostutusaineiden käyttöä.

Jotkin kostutusaineet eivät vain vähennä vaakuuntaista kosteusvaihtelua, vaan johtavat myös yleiseen vesipitoisuuden lisääntymiseen kasvualustan pintakerroksessa. Kostutusaineita, jotka pidättävät vettä kuitukerroksessa, ei tule käyttää liian myöhään kasvukaudella, sillä suurempi vesipitoisuus pintakerroksessa saattaa lisätä talvivaurioiden syntymisen riskiä. Kentänhoitajien on siksi luettava tekniset tiedot huolellisesti ennen kostutusaineen valintaa.



KASTELU JA RAVINTEIDEN SEKÄ KASVINSUOJELUAINEIDEN HUUHTOUTUMISRISKI

Jotkut ravinteet, erityisesti typpi ja fosfori, stimuloivat kasvien kasvua puroissa, joissa, padoissa ja järvissä. Typen saanti rajoittaa yleensä levien kasvua, mutta syanobakteerit (kutsuttu aiemmin sinileviksi) voivat sitoa typpeä ilmasta ja niiden kasvu onkin siten ensisijaisesti fosforin rajoittamaa.

Ravinteiden huuhtoutumisriski golfkentiltä on yleensä pieni, kunhan lannoitteita levitetään pieninä annoksina tasaisesti koko kasvukauden ajan. Yhdysvalloissa on kuitenkin dokumentoitu, että kenttäkapasiteetin ylittävä kastelu yhdistettynä suuriin yksittäisiin lannoitteiden käyttömääriin voi johtaa siihen, että jopa 90 % tuestä menetetään huuhtoutumana (Petrovic & Barlow 2012). Sen sijaan 2–3 kg N / 100 m² lannoitemäärän jakaminen usein levitettäväksi annoksiksi johtaa yleensä vain 5%:n menetykseen (Barton & Colmer 2006).

Golfviheriöltä peräisin oleva typen huuhtoutuminen on yleensä vähäistä niin kauan kuin lannoitemäärät ovat kohdullisia ja kasvusto on tiheä ja terve. Suurin typen huuhtoutumisriski on perustamisen aikana ja talvivaurioiden jälkeen. Landvikin vakiintuneiden viheriöiden kuivatusveden nitraattianalyysien arvot olivat aina alle EU:n juomavedelle määrittämän rajan (Aamlid et al. 2009, 2013). Vuonna 2012 hiekkaturvekasvustoille rakennettujen punanataviheriöiden huuhtoutumishäviöt olivat vain 0,08 kg / 100 m² eli

noin 6 % lannoitteisiin levitetyn typen määrästä (Aamlid et al. 2013).

Fosfori sitoutuu liukenemattomina suoloina voimakkaasti kasvualustaan. Mutta jos kompostia käytetään orgaanisena maanparanteena hiekkapohjaisilla kasvualustoilla, fosfori saattaa huuhtoutua, etenkin ensimmäisinä vuosina perustamisen jälkeen (Aamlid et al. 2013). Muuten golfkenttien aiheuttamat fosforipäästöt johtuvat ennen kaikkea siitä, että maaperän hiukkaset huuhtoutuvat golfkentän perustamisen aikana tapahtuvan sateen vuoksi (maaperän eroosio). Torjunta-aineiden huuhtoumakokeet osoittivat, että päästöriskit olivat paljon suuremmat, kun kasteltiin neljä kertaa 25 mm:lla verrattuna 16-kertaiseen kasteluun 6 mm:n vesimäärällä (Starrett et al. 1994).

Tämän osion johtopäätös on, että vaikka ongelmat olisivatkin pienet, kenttäkapasiteetin ylittävä kastelu voi johtaa sekä torjunta-aineiden, että ravinteiden huuhtoutumiseen. Pohjaveden pilaantuminen on aina erityinen huolenaihe, koska kemikaalien hajoaminen tapahtuu hitaasti pohjavedenpinnan alla ja koska monet ihmiset käyttävät pohjavettä juomaveden lähteenä.



Kuva 9. Husavik GC, Iceland. Kuva: Edwin Roald.

KASTELU KÄYTÄNNÖSSÄ

Kuinka aikatauluttaa kastelu?

On vaikea arvioida, kuinka paljon ja usein tulisi kastella parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi kasvuston laadun, taloudellisuuden ja mahdollisimman vähäisten ympäristövaikutusten näkökulmasta katsottuna. Tämä epävarmuus on merkittävä syy siihen, miksi monet kentänhoitajat kastelevat useammin ja enemmän kuin mitä todellisuudessa tarvitaan. Runsas kastelu on usein helpoin ja turvallisoin tapa välttää kuivalaikkuja ja kritiikkiä. Auringolle ja tuulelle altis nurmi kuluttaa enemmän vettä kuin nurmi varjossa. Toisin kuin luonnonsade, joka yleensä levittäytyy tasaisesti ja matalalla intensiteetillä tietyille viheriöille tai väylälle, kiinteät ja pyörivät sprinklerit levittävät vettä aina epätasaisesti ja yleensä suuremmalla intensiteetillä. Sprinklerin suorituskyky ja siten levityksen tasalaatuisuus riippuvat myös järjestelmän hallinnasta; paineen vaihteluilla voi olla merkittäviä vaikutuksia virtausnopeuksiin ja siten tasalaatuisuuteen. Optimaalista

alhaisempi paine johtaa pienempiin virtausnopeuksiin, mikä puolestaan vähentää sprinklerin heittosädettä ja luo suurempia pisaroita. Optimaalisen käyttöpaineen ylläpitäminen on siksi tärkein yksittäinen kastelun hallinnoinnin osa-alue. Tuuli voi myös aiheuttaa epätasalaatuisuutta ja muodokkaat ja tiheät viheriöpinnat valuttavat lopulta enemmän vettä matalille kuin korkeammille alueille ja rinteisiin ^[*].

Alijäämäkastelun etujen hyödyntämiseksi meidän on parannettava kastelujärjestelmäämme ja kastelukäytäntöjämme useilla tasoilla. Emme voi kieltää sitä, että on kallista saada tietoa kentän vesiolosuhteista, seurata ja tarkistaa toimenpiteitä tulosten parantamiseksi. Asianmukainen kastelu on siis haaste ennen kaikkea kentillä, joilla on resursseja ja kunnianhimoa nostaa kenttä entistä korkeammalle tasolle pelipintojen laadun ja ympäristönsuojelun suhteen.

*Lisähuomio:

Vaakasuora valuminen viheriöllä: Amerikkalaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että kasvualustan vesipitoisuus on yleensä hyvin epätasaista muodokkailla viheriöillä (Prettyman & McCoy 2003). Tämä johtuu osittain pintavalumasta ja osittain gravitaatioliikkeistä pinnan alla olevassa vesikerroksessa. Sprinklerikastelujärjestelmien intensiteetti on yleensä suurempi kuin kuivan viheriöpinnan läpäisykyky. Vaikka läpäisy voidaan parantaa kostuttamalla pinta hitaasti ja varovasti, on vaikea välttää, että viheriön matalat alueet saavat enemmän vettä kuin korkeat. Yrityksissä rakentaa vedenkululle esteitä, jotka pidättävät vettä viheriöpenkereillä, joiden kaltevuus on suurempi kuin 5% on onnistuttu (McInnes & Thomas 2012).



Kuva 10. Time Domain Reflectometri (TDR) -työkalua käytetään kasvualueen vesipitoisuuden mittaamiseen. Kuva: Agnar Kvalbein.

Vesitasapaino laskelmat

Ensimmäinen askel monille kentänhoitajille on aloittaa kastelun mittaaminen millimetreinä, minuuttien sijaan. Tämä on ehdoton edellytys kohtuullisuuden määrittämiseksi kasteluvien määrän suhteessa kasvien vedenkulutukseen. Jos jätämme huomioimatta ensimmäisen kenttäkapasiteettiin kastelun jälkeisen päivän, transpiroi pohjoismaisten golfkenttien nurmipinnat 3–4 mm hyvänä kesäpäivänä. ET voi nousta 5 mm:iin lämpiminä ja kuivimpina päivinä, joiden maksimilämpötila on noin 30 °C. Esimerkiksi, jos kastelujärjestelmä antaa 3 mm 10 minuutissa, 4x10 minuutin kastelun kahdesti viikossa pitäisi olla riittävä määrä täyttämään kasvuston vesivaatimus. Tätä suuremmat kastelu määrät johtavat veden hukkaan kuivatusjärjestelmän kautta.

Yksinkertainen kastelutasapaino voidaan määrittää, jos sinulla on sademittari ja pääsy ET_0 -arvoon alueesi sääasemalta. Maataloudessa tämä on suositeltu tapa laskea kastelutarve, ts. vesihävikin täydentämiseksi ET-arvojen perusteella. Jotkin nykyaikaiset kastelujärjestelmät sisältävät sääaseman ja ne voidaan ohjelmoida kastelemaan tämän antaman datan perusteella.

Kasvualueen vesipitoisuuden mittaaminen

Parempi ja helpompi vaihtoehto kuin laskea tasapaino ET:n ja sateiden välillä on pitää kasvualue mahdollisimman lähellä optimaalista vesipitoisuutta. Kasvualueen vesipitoisuuden mittaamiseen on olemassa useita tapoja, mutta nykyisin yksinkertaisin ja hyödyllisin työkalu on TDR-laite, joka ilmoittaa vesipitoisuuden suoraan prosentteina maaperän tilavuudesta. Suurin osa näistä instrumenteista on kannet-

Time Domain Reflectometry (TDR)

TDR-työkalu mittaa kasvualueen vesipitoisuutta noin 3cm vähintään kahden anturin ympäriltä. Antureita on saatavilla eri pituuksia. TDR lähettää elektromagneettista säteilyä ja tämän säteilyn heijastuskyky riippuu kasvualueen vesipitoisuudesta.

Arvo, jonka TDR ilmoittaa on kasvualueen keskimääräinen vesipitoisuus valittujen antureiden pituutta vastaavassa syvyydessä. Kohtuullisissa rajoissa lämpötila (0-30 °C), kasvualueen tiheys, rakenne tai maaperän suolapitoisuus eivät vaikuta mittaustulokseen. Kivet ja aukot maaperässä voivat olla potentiaalisia mittaustulokseen aiheuttajia ja mittauksiin saattaa myös vaikuttaa kasvualueen orgaanisen aineksen pitoisuus.

TDR-työkalun tarkkuuden tyypillinen vaihteluväli on $\pm 1-3\%$.

tavia, mutta joissakin versioissa on anturit, jotka kaivetaan maahan ja liitetään kastelutietokoneeseen langattomilla lähettimillä. Muissa malleissa on GPS-anturit, jotta tiedot voidaan helposti siirtää kartalle golfkentästä. Ennen TDR-laitteen käyttöä kastelun hallinnassa on määritettävä vesipitoisuus kenttäkapasiteetilla (katso menettely sivulla 10). Ei ole epätavallista, että tämä vesipitoisuus voi vaihdella $\pm 30\%$



Kuva 11. Nykyaikaisen kastelujärjestelmän tuottavuus on usein korkeampi kuin kasvualustan läpäisykyky. Muodokkailla viheriöpinnoilla tämä aiheuttaa epätasaista veden jakautumista, vaikka sadettajat olisivat oikein asennettuja ja hyvin huollettuja. Tämä kuva (Visby GC, Ruotsi), osoittaa veden lammikoituvan viheriön matalille alueille levityksen tasalaatuisuus testissä (Distribution uniformity =DU). Kuva: Agnar Kvalbein.

samalla viheriöllä. Tämä voi johtua vaihtelevasta orgaanisen aineksen määrästä tai erilaisesta tiivistymisestä. Nämä erot ovat itsessään mielenkiintoisia, koska ne antavat tietoa viheriöpinnasta. Orgaanisen aineksen pitoisuus on usein alhaisinta alueilla, jotka ovat alttiimpia kulumiselle. Samalla nämä ovat myös alueita, joilla tiivistymistä on paljon, mikä parantaa kasvualustan vedenpidätyskykyä.

Kun käytetään TDR-laitetta kastelutarpeiden määrittämiseksi, tavoitteena on pitää kasvualustan vesipitoisuus 50–70%:ssa kenttäkapasiteetista. Emme saa koskaan antaa kasvualustan vesipitoisuuden laskea niin alhaiseksi, että syntyy kuivailkkujen syntymisen uhkaa. Tämä tarkoittaa, että TDR-arvo on pidettävä yli 8 % kaikilla alueilla. Tutkittuasi viheriöt, tunnet niiden kuivimmat alueet. Ajoittain sinun on todennäköisesti kasteltava nämä alueet käsin, koska kastelujärjestelmä ei ole riittävän tasalaatuinen.

Kasvin kuivuuksstressin suora mittaaminen

Monia yrityksiä on tehty ”oikotien” luomiseksi, mittaamalla kasvien kuivuuksstressiä suoraan määrittelemättä kasvualustan vesipitoisuutta (Jones 2004). Suorien mittausten etuna on, että ne sisältävät huonon juuristokehityksen ja tilapäisen kuivuuksstressin aiheuttamat vaikutukset päivän aikana. Kokeissamme mittasimme joskus lehtien lämpötilan muutaman asteen korkeammaksi kuivimmalla alueilla, verrattuna alueisiin, joilla oli enemmän vettä. Toinen mahdollinen menetelmä perustuu punaisen valon erilaiseen heijastumiseen, kun kasvi

alkaa kuivua. Tällä tekniikalla voimme havaita kuivia alueita 12–18 tuntia ennen kuin ne tulevat silmillä havaittaviksi (B.Horgan, turfgrass-kurssi 2013). Tätä tekniikkaa on vielä hieman hiottava, jotta sitä voidaan hyödyntää käytännössä.

Kastelun ajoittaminen

Yöllä tai aikaisin aamulla tapahtuvan kastelun tehokkuuteen on monia käytännön syitä. Tärkeimpänä, silloin on vähemmän pelaajia. Toiseksi tuulen nopeus on usein pienempi, mikä edesauttaa veden tasaisempaa levittämistä. Kolmanneksi kasvusto kuivuu nopeammin, jos kaste- ja guttaatiopisarat on poistettu kastelemalla varhain aamulla.

Kastelu lyhyinä jaksoina

Kasvualustan läpäisevyys on yleensä parempi ”vähän ja usein” kuin ”paljon ja harvoin” -kastelulla. Kun kastellaan kuivaa pintaa, meidän on aina aloitettava varovasti pienellä määrällä vettä, joka vain kastaa pinnan ja tekee siitä vastaanottokykyisen myöhemmille kastelujaksoille. Jopa 4–5 minuutin voimakas sprinklerikastelu voi johtaa pintavalumiin ja siten epätasaisen veden jakautumiseen. Parhaat tulokset saadaan monilla lyhyillä kastelujaksoilla.

Konkreettinen suositus alijäämäkasteluun

STERFin kasteluprojektin viimeisen osan tarkoituksena oli testata alijäämäkastelua käytännössä valituilla golfkentillä. Valitettavasti nämä kokeet tehtiin vuonna, jolloin oli paljon luonnonsateita. Siksi emme pystyneet arvioimaan kasvustojen laatueroja vedenkäytön ja kastelukustannusten suhteen, mutta saimme vaikutelman kastelujärjestelmien tasalaatuisuudesta useilla golfkentillä (katso esimerkki seuraavalla sivulla).

Alla on lueteltu joitain suosituksia siitä, miten kehittää omia kokemuksiasi alijäämäkasteluun. Se on raskasta työtä, mutta näiden suositusten noudattaminen askel askeleelta johtaa pienempään veden ja energian kulutukseen ja todennäköisesti parantaa pelipintojen laatua golfkentälläsi:

Kastelu vakiintuneilla viheriöillä

1. Valmistaudu viheriöillä keväällä ruiskuttamalla kostutussainetta, jos kokemuksesi kertoo, että kuivalaikkuja voi esiintyä.
2. Osta TDR-instrumentti, jonka antureiden pituus vastaa viheriöiden juurisyyvyttä.
3. Selvitä kastelujärjestelmän tasalaatuisuus hiljaisena aamuna/aamuyönä. Varmista, että suuttimet ovat kunnossa ja että sprinklerit ovat suorassa (90 °). Aseta sademittarit (tai pienet laatikot) säännöllisin välimatkoin viheriön kaikille alueille ja mittaa sisältö 10 minuutin kastelun jälkeen. Piirrä kartta, joka näyttää kattavuuden ja etsi suhde minuuttien ja millimetrien välillä.
4. Määritä kasvualustan vesipitoisuus kenttäkapasiteetissa (yksi tunti pitkäaikaisen sateen / kastelun jälkeen) TDR-instrumentilla.
5. Aloita alijäämäkasteluohjelma kastelemalla joka kerta, kun kasvualustan vesipitoisuus on alle 60 % kenttäkapasiteetista. Kun kasvusto kuivakaraistuu, ts. sopeutuu pienempään kasvualustan vesipitoisuuteen, voit laskea kastelun aloitusraja-arvon asteittain 50 %:iin kenttäkapasiteetista. Älä kuitenkaan koskaan anna vesipitoisuuden laskea alle 8 % (keskiarvo; kriittinen raja voi vaihdella viheriöiden välillä).
6. Aluksi lasketaan kasteluun tarvittava mm:n määrä, jotta päästään 80 %:iin kenttäkapasiteetista. Kun nurmikko kuivakaraistuu, kastelu lopetetaan, kun kenttäkapasiteetista on täynnä 70 %.
7. Tarkista tulos TDR-instrumentilla kastelun jälkeisenä päivänä. Kiinnitä erityistä huomiota kuivimpiin alueisiin.

8. Lämpiminä ja kuivina ajanjaksoina voi olla tarpeen täydentää sprinklerikastelua käsin kastelulla kuivimmilla alueilla (missä kastelulaitteiston peittävyys on heikkoa tai pintavalumaa syntyy pinnanmuotojen takia).
9. Tee uusi kostutusainekäsittely viheriöiden kuivimmille alueille, jos kuivalaikkuja muodostuu. Kiinnitä huomiota alueisiin, joissa vesipitoisuus laskee yhä kastelun jälkeen. Kostutusaineita voidaan levittää sekä rakeina, kasteluletkun kautta patruunoita liuottamalla tai ruiskuttamalla. Kostutusaineita, jotka pidättävät vettä kuidussa, ei tule käyttää 1. elokuuta jälkeen (käytä harkintaa omalla kentälläsi), koska kuidun suurempi vesipitoisuus voi lisätä talvivaurioiden riskiä.

Kastelu väylillä

Koska väylillä on yleensä juurisyyvyteen ja kasvien käytettävissä olevaan vesivarastoon liittyviä epävarmuustekijöitä, suosittelemme, että jopa väylän kasteluohjelman tulisi perustua viheriöiden TDR-mittauksiin. Tämä perustuu tietoon, että väylien ja viheralueiden välillä ei ole juurikaan eroa vedenkulutuksessa, kunhan vältämme kastelua kenttäkapasiteettiin. Kuivuuden aikana suosittelemme siksi, että väylällä käytetään yhtä paljon kasteluvettä pinta-alayksikköä kohti kuin vihreällä.

Jos väylällä on hiekkakasvualusta (sand-cap) tai hiekkamaalla, kasteluvälin on oltava sama kuin viheriöillä (yleensä 1–3 päivää). Jos väylä on savimaalla, jolla on suuremmat vesivarastot, kasteluvälit ja kullakin kastelukerralla käytetty millimetricien määrä voidaan molemmat kaksinkertaistaa.

Kun väylällä otetaan käyttöön alijäämäkastelu, vedenkulutus (ja energiakulutus) vähenevät niin, että se todella näkyy kastelutaseessa!

Esimerkki: Larvik GC, Norway

Viheriö nro. 18 Larvikin golfkentällä on epäsäännöllinen muoto (kuva 6) ja vaikka sprinklerit on asetettu kolmiomuotoon, viheriön eri osissa vastaanotetun veden määrä vaihteli suuresti. 4 m x 4 m:n etäisyydelle asetetut sademittarit keräsivät 12–30 ml vettä, toisin sanoen pienimmän ja suurimman arvon välinen suhde oli 1:2,5. Levityksen tasalaatuisuus (Distribution Uniformity= DU) oli 65 %:ksi (25 %:n alimman arvon keskiarvo jaettuna kaikkien arvojen keskiarvolla). 55 prosentin DU:ta pidetään huonona, 70 % hyväksyttävänä ja 80 % erinomaisena. Kastelujärjestelmä antoi keskimäärin 0,37 mm vettä minuutissa tai 22 mm tunnissa.

Viheriö kylvettiin rönsyröllillä (*Agrostis stolonifera*) ja se oli dressattu säännöllisesti 15 vuoden ajan. Kasvualustan paksuus oli siten noin 40 cm. Orgaanisen aineksen pitoisuus pintakerroksessa oli noin 2 % ja kasvualusta oli siten melko kuiva.

Juuriston syvyys vaihteli, mutta useimmissa paikoissa se oli noin 20 cm. Eniten vettä saaneella viheriön osalla oli enemmän kylänurmikkaa, noin 70%, ja juuret olivat lyhyempiä. Kasvualustan vesipitoisuus mitattiin TDR-instrumentilla 20 cm:n antureilla (TDR₂₀). Keskimääräinen kenttäkapasiteetti (kasvualustan vesipitoisuus tunnin kuluttua pitkittyneistä sa-

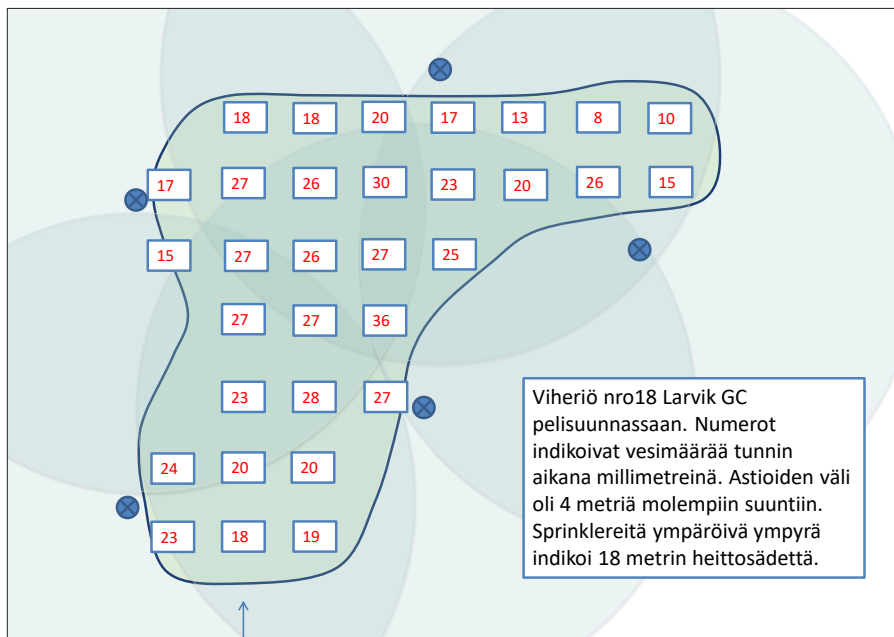
teista) oli keskimäärin 18 %, mutta vaihteluväli viheriön sisällä oli 10,0–21,4 %.

Tavoitteenamme oli pitää kasvualustan vesipitoisuus välillä 60–70% kenttäkapasiteetista, ts. 10,8–12,6% vettä 20 cm:n kasvualustassa. Päivittäiset keskiarvot (TDR₂₀) mitattuna 12:sta ennalta määrättyä kohdalta viheriöllä esitetään taulukossa 6.

Kolmen päivän (edellisenä iltana nro 4) jälkeen viheriötä kasteltiin 15 minuutin ajan, ts. keskimäärin 5,5 mm vesimäärällä. Tämä kastelu nosti TDR₂₀-arvon 13,0 %:iin päivänä neljä. Viidentenä päivän koko viheriön keskimääräinen vesipitoisuus oli 11,5 %, mutta oikeassa yläkulmassa, jossa kastelulaitteiston kattavuus oli huono, oli vesipitoisuus vain 9 % (Sprinklereiden sijainnista olisi voinut odottaa kuivaa aluetta myös viheriön sisäänkäynnin lähetyville (alempi alue kuvassa 6), mutta näin ei tapahtunut, koska viheriön kallistus oli pelisuunnan vastainen.) Päivänä nro 6 mitattiin keskimääräiseksi vesipitoisuudeksi 10,0 % (noin 12 % edellisenä päivänä käsikastellulla alueella), joten seitsemättä päivää edeltävänä yönä viheriötä kasteltiin 20 minuutin ajan (= 7,4 mm). Tämä nosti vesipitoisuuden jopa 12,4 prosenttiin päivänä seitsemän. Päivänä kahdeksan satoi voimakkaasti.

Taulukko 6. Kasvualustan vesipitoisuus ja kastelu/sademäärä Larvik Golf Clubin viheriöllä 18 kahdeksan päivän ajanjakson aikana.

| Päivä nro | Päivä nro viheriön kenttäkapasiteettiin kastelun jälkeen | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|---------------|------|------|-----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Kasvualustan vesipitoisuus ennen kastelua (TDR ₂₀) | 18.0 | 15.1 | 12.6 | 11.0 | 13.0 | 11.5 | 10.0 | 12.4 | 11.2 |
| Kastelu (mm) | | | | 5.5 | | Käsin-kastelu | 7.4 | | 20 (sade) |




Kaavio 6 ja kuva 12. Larvik Golf Clubin viheriö nro 18, Norjassa. Huomioithan heikon kasvuston laadun keskialueella, joka on saanut eniten vettä, ja jonka kylänurmikkapitoisuus on suurin. Kuva: Agnar Kvalbein.

LÄHTEET

- Aamlid, T.S., T.E. Andersen, A. Kvalbein, T. Pettersen, A.M.D. Jensen & P. Rasmussen (2013) Use of compost in the root zone or in the topdressing sand on red fescue greens. Results from the period August 2011 - November 2012. *Bioforsk Report* 8(168): 1-37.
- Aamlid, T. S., M. Larsbo & N. Jarvis (2009) Effects of surfactant use and peat amendment on leaching of fungicides and nitrate from golf greens. *Biologia* 64 : 419—423.
- Barton, L. & T. D. Colmer (2006) Irrigation and fertiliser strategies for minimising nitrogen leaching from turfgrass. *Agricultural Water Management* 80: 160—175.
- Bigelow, C. A., D.C. Bowman & D. K. Cassel (2001) Water retention of sand-based putting green mixtures as affected by the presence of gravel sub-layers. *International Turfgrass Society Research Journal* 9: 479 – 486.
- Doerr, S.H., R.A. Shakesby & R.P.D. Walsh. 2000. Soil water repellency: Its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Review* 51: 33–65.
- Jones, H.G.(2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* 55: 2427-2436.
- Larsbo, M., T.S. Aamlid, L.Persson & N. Jarvis (2008) Fungicide leaching from golf greens: Effects of root zone composition and surfactant use. *Journal of Environmental Quality* 37: 1527-1535.
- McInnes, K. J. & J. C. Thomas (2012) Passive control of downslope capillary wicking of water in sand-based root zones. *HortScience* 47: 275-279.
- McCarty, L.B. (2011). *Best golf course management practices: construction, watering, fertilization, cultural practices and pest management strategies to maintain golf course turf with minimal environmental impact*. Third Edition. Prentice Hall. 776 pp.
- Petrovic, A.M. & J.J. Barlow (2012) Influence of single nitrogen application rates on the extent of nitrogen leaching from sand-based and sandy loam rootzones. In (A. Zuin & T.S. Aamlid (eds.) Reviewed abstracts presented at the 3rd European Turfgrass Society Conference 'Quality turf and efficient utilization of resources' 24-26 June 2012, Kristiansand, Norway. *Bioforsk Fokus* 7(8): 65-66.
- Prettyman G. W. & E. L. McCoy (2003) Profile layering, root zone permeability, and slope affect on soil water content during putting green drainage. *Crop Science* 43: 985-994.
- Riley, H., M.Stenrod, Y.E. Fevang, T.H. Sivertsen, T. Rafoss & H. Hole (2013) Vanningsinformasjon fra Bioforsk <http://lmt.bioforsk.no/vatning/hjelp.html> (Accessed 1 Feb. 2014).
- Soulis, E.D., J.R. Craig, V. Fortin & G. Liu (2011) A simple expression for the bulk field capacity of a sloping soil horizon. *Hydrological Processes* 25: 112-116.
- Starrett S. K., N. E. Christians & T. A. Austin (1994) Movement of pesticides under two irrigation regimes applied to turfgrass. *Journal of Environmental Quality* 25: 566-571.
- Taylor, D. H., S.D. Nelson & C.F. Williams (1993) Sub-root zone layering: Effects on water retention in sports turf soil profiles. *Agronomy Journal* 85: 626-630.







Kirjoittaja
AGNAR KVALBEIN
TRYGVE S AAMLID
NIBIO, Turfgrass Research Group

Käännös
JANNE LEHTO

Tekstinkäsittely
Maria Strandberg
STERF

STERF 2012 & 2021. FORM: KARIN SCHMIDT.

STERF

STERF (Scandinavian Turfgrass and Environment Research Foundation) is the Nordic golf federations' joint research body. STERF supplies new knowledge that is essential for modern golf course management, knowledge that is of practical benefit and ready for use, for example directly on golf courses or in dialogue with the authorities and the public and in a credible environmental protection work. STERF is currently regarded as one of Europe's most important centres for research on the construction and upkeep of golf courses. STERF has decided to prioritise R&D within the following thematic platforms: Integrated pest management, Multifunctional golf facilities, Sustainable water management and Winter stress management. More information about STERF can be found at www.sterf.org