

HIEKKAPINTAISTEN PALLOKENTTIEN PINNAN MATERIAALI- JA JOUSTO-OMINAISUUDET

TAPANI JÄNISKANGAS

Yhteyshenkilö: Tapani Jäniskangas, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos,

Maa- ja pohjarakenteet, PL 600, 33101 Tampere.

Puh: 040-737 6791. Sähköposti: tapani.janiskangas@tut.fi

TIIVISTELMÄ

Jäniskangas T. 2011. Hiekkapintaisten pallokenttien pinnan materiaali- ja jousto-ominaisuudet. Liikunta & Tiede 49 (1), 75–83.

■ Luonnonnurmea pidetään pelattavuudeltaan hyvissä sääolosuhteissa parhaana mahdollisena alustana jalkapalloiluun. Hiekkakentät, jotka ovat käytössä lähinnä alemmilla sarjatasoilla, ovat yleensä kovia jalkapallokäyttöön, mutta sopivia pesäpallokäyttöön. Ylempien sarjatasojen joukkueet käyttävät yleensä joko luonnonnurmea tai tekonurmea harjoituksissa ja otteluissa.

Hiekkakentillä ei päästä luonnonnurmen joustavuuteen normaali- rakenteella. Pintojen erilaisuus ei välttämättä kuitenkaan edellytä em. rakenteiden jouston samansuurisuutta, sillä riittävällä hoidolla nurmikenttää selvästi kovempi hiekkakenttäkin on toimiva. Kovalla alustalla pelaajan jalkoihin kuitenkin kohdistuu iskurasituksia, jotka voivat aiheuttaa erilaisia rasisitusvammoja, kuten eri tutkimuksissa on todettu.

Tutkimuksessa analysoitiin kymmenen hiekkakentän pinnan materiaaliominaisuudet laboratoriossa ja jousto-ominaisuudet kentillä. Kenttien jousto-ominaisuudet mitattiin pudotuspainolaitteella. Jouston vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat materiaalin vesipitoisuus ja tiivistystila.

Tämän tutkimuksen mukaan kostealla materiaalilla on selvästi paremmat jousto-ominaisuudet kuin kuivalla materiaalilla. Tutkittujen pintamateriaalien optimivesipitoisuudet olivat hyvin samaa suuruusluokkaa (7–8 prosenttia). Pintamateriaalin ollessa hyvin kuivaa (0,7–2,2 prosenttia) joustomoduuliarvot (E_2) vaihtelivat välillä 95–126 MPa. Pintamateriaalin vesipitoisuuden ollessa optimivesipitoisuudessa tai hieman sen yli joustomoduuliarvot vaihtelivat vastaavasti välillä 70–85 MPa. Laboratoriokokeissa kenttämateriaalien tiivistyvyydessä oli eroja; tiivistyvyyksindeksit vaihtelivat välillä 1,79–2,48.

Tehdyn tutkimuksen yhteenvedona voidaan todeta, että hiekkakentän jousto-ominaisuudet paranevat kentän pintamateriaalin ollessa tarpeeksi kosteaa. Hyvin tiivistyvä materiaali tekee kentän pinnan helpommin kiinteetyväksi kuin huonosti tiivistyvä materiaali.

Asiasanat: hiekkakentät, jalkapallo, pesäpallo, jousto-ominaisuudet, vesipitoisuus, tiivistyvyys

ABSTRACT

Jäniskangas T. 2011. The material and flexibility properties of sand fields. Liikunta & Tiede 49 (1), 75–83.

■ In good weather conditions natural grass is considered the best surface for playing football due to its flexibility and friction properties. Sand-surfaced fields that are used mainly by lower division teams are usually relatively hard for football, but suitable for Finnish baseball. Higher division teams usually practice and play their matches either on natural grass or artificial turf.

The flexibility of natural grass is not attainable with the normal structure of a sand-surfaced field. But these different surfaces do not necessarily have to be equally flexible, because with sufficient care (watering, harrowing, levelling) the clearly harder sand field serves its purpose well. To be sure, the hard surface causes impact stresses which may result in stress injuries to the feet. As to the behaviour of sand fields, they have considerable shortcomings in too damp or too dry conditions as various studies have found.

This study analysed the material properties of ten sand fields in laboratory and their flexibility properties at fields. The flexibility properties of the fields were measured with a light weight portable device (Loadman). The most significant factors affecting flexibility are the water content and the degree of compaction of the material.

According to this study, a wet material has distinctly better flexibility properties than a dry material. The optimum water contents of the examined surface materials were about the same (7–8 %). In the case of a very dry surface material (0.7–2.2 %), the flexibility modulus value (E_2) varied from 96–126 MPa. When the water content of the surface material was optimal or little higher, the flexibility modulus value (E_2) varied from 70–85 MPa. There were differences between the compactibility of different field materials in laboratory tests; compaction factors varied from 1.79–2.48.

In conclusion, the flexibility properties of sand fields improve when their surface material is damp enough. Well compacting material allows the surface of a field to firm up more easily than a poorly compacting material.

Keywords: sand fields, football, Finnish baseball, flexibility properties, water content, compaction

JOHDANTO

Hiekka on yleinen pintamateriaali varsinkin koululaisten käyttämällä jalkapallo- / pesäpallokentillä sekä lähiliikuntapaikoilla. Hiekkakenttiä on Suomessa arvion mukaan useita tuhansia laskutavasta riippuen. Koulupihalla tapahtuvassa liikunnassa pallopeleillä on keskeinen merkitys. Suomessa on hieman yli 3000 ala-asteen koulupihaa. Lähes jokaisessa niistä on jonkinlainen pallokenttä. (Koulupihojen liikuntaolosuhteet 2003) Opetus- ja kulttuuriministeriön rakentamispoliittikan kehittämisalueena mainitaan muun muassa koulualueet (Liikuntapaikkarakentamisen suunta 2011).

Yleisesti puhutaan hiekkakentistä vaikka pintamateriaali onkin todellisuudessa kalliosta tai sorasta valmistettua hienoa murskettä, josta käytetään yleisesti myös nimitystä kivituhka. Rakeisuusikäyrän perusteella materiaali sijoittuu yleensä karkean hiekan alueelle – siitä nimi hiekkakenttä (Urheilulaitokset 1980).

Kansallispelimme pesäpallo on yläkouluissa ja lukioissa suosittu pallopeli. Sarjat pelataan pääasiassa hiekkakentillä. Jalkapalloa on totuttu pelaamaan mieluummin nurmikentällä mutta sen puuttuessa myös hiekkakentällä, jolla pelataan jopa alempien sarjatasojen pelejä. Talviajaksi hiekkakenttä tai osa siitä jäädytetään usein luistinradaksi tai kentälle rakennetaan jääkiekkokaukalo.

Eri palloilulajien säännöt sisältävät vähän selviä vaatimuksia tai määräyksiä suorituspaiikkojen päällysteiden laadusta. Hiekkakentillä käytettävän kivituhkan ohjeellinen rakeisuusalue on esitetty Opetusministeriön liikuntapaikkajulkaisussa 82 (Urheilukenttien suunnittelu- ja rakentamisopas 2002). Rakeisuusalue sijoittuu raekokoalueelle 0,074–4 mm, jossa sallitaan alle 0,074 mm:n ainesta 0–13 prosenttia. Hiekkakenttien mahdollisia ongelmia ovat: pinnan pehmeneminen ja liettyminen sateella sekä liika kovuus ja pölyäminen kuivana kautena. Koulujen liikunta-alueille voidaan asentaa myös erilaisia tekonurmia palvelemaan eri urheilulajeja, sillä tekonurmi on Suomen olosuhteissa erinomainen, mutta kallis vaihtoehto kivituhkapintaiselle kentälle.

Turvallinen liikuntasuoritus edellyttää liikuntapaikkojen päällysteiltä joustavuutta, sillä liian kovat alustat muodostavat riskin rasitusperäisille vammoille (Parkkari ym. 2010). Jalkapallo ja pesäpallo vaativat joustavuudeltaan erilaiset pelialustat. Jalkapalloilijat pitävät ihanteellisena luonnonnurmikentän joustavuutta. Pesäpallossa kovasta kentästä on hyötävä pelillisesti pallon pomppaamisen kannalta. Toisaalta kova kenttä lisää lihaksille ja nivelille tulevia kuormituksia. Noin yksi kolmasosa kaikista jalkapallovammoista lasketaan olevan kroonisia vammoja (Ekstrand & Nigg 1989). Useissa tutkimuksissa (Brosnan & McNitt 2008; Nigg & Segesser 1988) on osoitettu, että urheilualustan kovuus vaikuttaa negatiivisesti kentän käyttäjän turvallisuuteen kaatumistapaturmissa ja alaraajavammoissa.

Pinnan ja jalkineen välinen kitka on toinen vammoihin vaikuttava tekijä. Hiekkakenttä on yleensä paitsi kova myös kitkaominaisuksiltaan erilainen kosteusolosuhteiden vaihdella. On osoitettu, että kitka vaikuttaa äkillisiin vammoihin, joita on laskettu olevan noin kaksi kolmasosaa jalkapallovammoista (Ekstrand & Nigg 1989).

Alustan iskunvaimennus (jousto) on tärkeä ominaisuus urheilualustoilla niin pallon ja pinnan kuin pelaajan ja pinnan vuorovaikutuksessa. (Guisasola 2008) Urheilijan liikuntasuorituksessa jousto jakautuu nivelten, jalan ja jalkineen jouston sekä alustan jouston kesken. Täten alustasta jalkaan kohdistuvan voiman maksimiarvo vastaavasti pienenee (Hiekkatekonurmiopas 1997). Eri alustojen oletetaan vaikuttavan jalkaan kohdistuviin reaktivoimiin ja käytössä olevien lihasten aktiivisuuteen (Komi ym. 1987). Askeleen törmäysvaiheessa kovalla alustalla on mitattu suurempia reaktivoimia (Ferris ym. 1999). Kävellessä kanta- ja sääriluuhun kohdistuu noin henkilön painon suuruinen kuorma. Juostessa rasitus on noin kolminkertainen paikallaanoloa verrattuna. (Aho & Lahtinen 1988)

Baseball-kenttien hiekkapintaisten pesäpolkujen on todettu olevan hyvin kovia ylittäen usein CPSC:n (The United States Consumer

Product Safety Commission) maksimi turvallisuustason (Brosnan & McNitt 2008). Tutkimuksessa (Brosnan & McNitt 2008) pintamateriaalin vesipitoisuudella oli merkittävä yhteys pinnan kovuuteen (korrelaatiokerroin -0,684, $p \leq 0,001$) ja myös karhimalla muokatun pintakerroksen todettiin pienentävän kentän kovuutta (korrelaatiokerroin -0,681, $p \leq 0,001$). Em. tutkimuksessa todettiin myös, että kentän pinnan kovuuteen vaikuttaa merkittävämmän kentän tiivistäminen rakennusvaiheessa ja hoitotoimenpiteet (mm. kastelu, karhiminen) kuin pintamateriaalin ominaisuudet.

Rakennetun hiekkakentän joustavuus aiheutuu useimmiten lähes pelkästään kivituhkerroksen kokoonpuristumisesta. Koko rakenteen taipumalla on merkitystä vain silloin, kun kivituhkerroksen alainen kantava kerros puuttuu rakenteesta kokonaan. Näin ollen rakenteen joustavuuteen voidaan vaikuttaa sekä kivituhkan ominaisuuksilla että sen paksuuden avulla. Hiekkakentät ovat yleensä joustoltaan sopivia pesäpallokäyttöön, mutta suhteellisen kovia jalkapallokäyttöön. Jalkapallokentältä edellytetään lajin luonteen asettamien vaatimusten mukaista joustavuutta. Sopiva jousto muodostuu pelaajan tuntumasta ja pallon ponnahdusominaisuuksista. Alustan joustolla ja joustoajalla on merkitystä myös urheiluvälineiden käyttäytymiselle (esimerkiksi pallon pomppu ja kierreominaisuudet). (Hiekkatekonurmiopas 1997) Kentän tiivistyminen lisää kentän kovuutta ja kitkaa. Kentän hoitotoimenpiteillä (pinnan karhiminen) voidaan vaikuttaa oleellisesti kentän pinnan joustavuuteen (Brosnan ym. 2009).

Urheilualustan kovuus voidaan mitata useilla tavoilla (Otago ym. 2007). Hiekkakentän jouston testauksessa voidaan käyttää putoavan painon törmäystä simuloivaa, kannettavaa pudotuspainolaitetta (Loadman), jonka on todettu soveltuvan hyvin urheilualueiden jousto-ominaisuuksien mittaamiseen. Pudotuspainolaitteen 10 kilon painon pudotus 800 mm:n korkeudelta vastaa 132 mm:n pohjalevyllä noin 1,7 MPa:n pintapainetta. Taulukossa 1 on esitetty tällä laitteella eri alustoilta mitattuja joustomodulaarvoja (Jäniskangas 2010, julkaisematon). Joustomodulaarvo 25–30 MPa on tavoiteltava arvo jalkapallokentillä. Hyviltä hiekkatekonurmipintaisilta pesäpallokentiltä on mitattu 90–110 MPa:n pintajoustoarvoja. (Hiekkatekonurmiopas 1997)

Kentän jousto-ominaisuuksiin vaikuttaa myös rakennekerrosmateriaalien kosteusala. Esimerkiksi kivituhkan kokoonpuristuvuus ja kimmoisuus muuttuu kosteuden suhteen siten, että kentän pinta on kuivana kova ja kosteana joustavampi.

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa ja analysoida hiekkakenttien pinnan ominaisuuksia, jotka saattavat vaikuttaa pinnan kovuuteen ja tekniseen toimivuuteen. Lisäksi tavoitteena oli vertailla eri kenttien pintamateriaalien raekokojakautumien vastaavuutta voimassa oleviin rakeisuusohjealueisiin.

TAULUKKO 1. Eriaisilta pallokentiltä Loadman -laitteella mitattujen joustomodulaarvojen (E_2) keskiarvoja

Kentän käyttötarkoitus	Pintamateriaali	Joustomodulaari (E_2)
Jalkapallo	Nurmi	20...30
Pesä- ja jalkapallo	Kivituhka	70...126
Jalkapallo	Hiekkatekonurmi (alla joustokerros)	20...50
Pesäpallo	Hiekkatekonurmi (ilman joustokerrosta)	68...139

TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETLMÄT

Tutkimuksen kohde

Pääasiassa pintamateriaali vaikuttaa sekä kentän turvallisuuteen että pelillisiin ominaisuuksiin; pelaajan liikkuminen ja pallon käyttäytyminen. Tutkittavana oli kymmenen eri puolilla Suomea sijaitsevaa hiekkakenttää. Tutkitut kentät olivat suurista kaupungeista valittuja hoidettuja liikunta-alueita. Kentät olivat koululaiskäytön lisäksi alempien sarjatasojen, junioreiden ja harrastajien runsaassa käytössä.

Tutkitut materiaalit

Kymmeneltä tutkitulta hiekkakentältä otettiin pintamateriaalinäytteet, jotka analysoitiin laboratoriossa. Näytteet (2 kpl/kenttä) otettiin kentän pintakerroksesta silmämääräisesti kenttää edustavasta kohdasta keskialueelta ja maalinedustalta eli samoista pisteistä eri kentiltä. Näin varmistettiin, että eri kentiltä otetut näytteet vastasivat toisiaan. Näytteet otettiin lapiolla koko pintakerroksen syvyydeltä noin 300 cm² alueelta. Pintakerroksen alla on karkearakeisempi kantava kerros, johon näyte rajattiin. Näytettä kuivattiin vuorokauden ajan kuivauskaapissa 105 °C:n lämpötilassa ennen laboratoriotutkimuksia. Näin saatiin selville pintakerrosnäytteen kosteusprosenttina kuivan aineksen massasta.

Rakeisuus

Materiaalin tiiviyyteen vaikuttaa kiviainesrakeiden väliin jäävä tyhjä tila. Mitä vähemmän on tyhjää tilaa, sitä tiiviimpi rakenne on. Suuri tyhjätila vaikuttaa myös materiaalin suurempaan erottumiseen ja huonompaan koossapysyvyyteen. Rakeet tukeutuvat toisiinsa kosketuspisteissä, joita tiiviissä rakenteessa on enemmän kuin löyhässä. Jatkuvilla paraabelin muotoa noudattavilla rakeisuuskäyrillä saavutetaan suhteellisesti paras tiiviyys pienellä tiivistystyöllä.

Pintamateriaalien rakeisuudet määritettiin pesuseulomalla näyte normaalseulasarjalla (kuva 1). Materiaalien hienoainekset (raekoko < 0,074 mm) seulottiin erilleen ja niiden rakeisuus määritettiin laserdiffraktio -laitteistolla (kuva 1). Seulonnan tulos ilmoitetaan kunkin seulan läpäisseen materiaalin painoprosenttiosuutena koko näytteestä. Läpäisyprosentin perusteella voidaan piirtää materiaalin rakeisuuskäyrä.



KUVA 1. Seulonnassa käytettävä standardiseulasarja ja seulatärytin sekä laserdiffraktio -laitteisto

Ominaispinta-ala

Ominaispinta-alalla tarkoitetaan yksittäisten rakeiden pintojen yhteenlaskettua pinta-alaa painoyksikköä kohden laskettuna, esimerkiksi m²/kg. Ominaispinta-alan suuruuteen vaikuttavat raekoko ja pinnan rakenne. Ominaispinta-ala on suuri, jos raekoko on pieni, rakeiden pinnat ovat epätasaiset, rapautuneet, humuksen tai rautasaostuman peittämät. Vastaavasti ominaispinta-ala on pieni, mikäli aineksen rakeet ovat suurikokoisia, pyöreämuotoisia ja sileäpintaisia. Kiviainesrakeen pinnalle sitoutuvan veden määrä riippuu muun muassa ominaispinta-alasta, rakeen pinnalla tapahtuvista vettä sitovista kemiallisista reaktioista ja pinnalla olevien vapaiden hydroksyyli-ryhmien määrästä. Eri menetelmillä mitattujen ominaispinta-alojen suuruus vaihtelee menetelmästä riippuen. Suurimmat ominaispinta-alat saadaan veden adsorption avulla mitattuna ja pienimmät matemaattisesti lasketusta pinta-alasta, jossa rakeet oletetaan pyöreiksi. (Nieminen 1985)

Tässä tutkimuksessa ominaispinta-ala määritettiin hienoaineksesta typpiadsorptiomenetelmällä. Siinä typpikaasu muodostaa yksimolekyylaraisen kerroksen rakeen pintaan. Kun typpimolekyylin peittämän pinnan ala (16,2^{*} 10–20 m²) tunnetaan (Gregg & Sing 1982), voidaan kulutetun typpimäärän ja näytteen painon perusteella laskea ominaispinta-ala. Typpiadsorptiopinta-ala mittaa sekä ulkoista että sisäistä pinta-alaa. Veden adsorption avulla näytteestä saatu ominaispinta-ala on todellista suurempi, koska H₂O-molekyylillä on reaktiivinen, jolloin mineraalien pinoilla voi olla useampia kuin yksi molekyylikerros.

Vedenläpäisevyys ja tiivistyvyys

Kenttien pintamateriaalien vedenläpäisevydet määritettiin laboratoriossa vakiopainemenetelmällä. Menetelmässä tutkittavasta materiaalista tiivistetyn näytteen läpi johdetaan vettä vakiopaineella. Vedenläpäisevyys saadaan määritettyä näytteen läpi tiettyssä ajassa virranneen vesimäärän perusteella. Kustakin materiaalista tiivistettiin kaksi koekappaletta noin 90 prosentin tiiviyssasteeseen.

Tiivistämiseen käytettiin kiertotiivistysperiaatteella toimivaa ICT-laitetta (Intensive Compaction Tester), joka on tarkoitettu rakeisten materiaalien tiivistämiseen halutulla työmäärällä tai haluttuun tiiviyteen. Laitteessa tiivistyminen tapahtuu näytteeseen männän avulla kohdistuvan, säädettävän paineen ja näytemuotin kiertoliikkeen vaikutuksesta. Tässä tutkimuksessa materiaaleja tiivistettiin optimivesipitoisuudessa 140 työkierrosta 4 barin työpaineella. Tiivistämisen aikana laite määrittää ja tulostaa näytteen tilavuuspainon eri työmäärillä. Näistä muuttujista laskettua tiivistyvyyssindeksiä, *t_i*, käytettiin materiaalin tiivistyvyyden arviointiin. Materiaalin tiivistyvyyssindeksi on loppu- ja alkutiiviiden erotuksen suhde tiivistystyömäärään (kierrokset *d*).

Jouston mittaus

Hiekkakenttien jousto-ominaisuuksia tutkittiin kannettavalla pudotuspainolaitteella, Loadmanilla (kuva 2), jota käytetään Suomessa urheilualueiden jousto-ominaisuuksien mittaamiseen. Loadmanin toimintaperiaate on seuraava: laitteen sisällä oleva 10 kilon teräspaino pudotetaan vapaasti 0,8 m:n korkeudelta laitteen pohjalevyille (Ø 132 mm). Painon pohjaan on kiinnitetty kumivaimennin, jonka jäykkyyden avulla voidaan säätää putoavasta painosta alustaan kohdistuvan kuormituksen suuruutta ja aikajakautumaa. Kuormitus aiheuttaa tutkittavan alustan painuman, joka mitataan kiihtyvyyssanturin avulla. (Loadman II 2002) Putoavan painon liike-energia muuttuu alustan muodonmuutostyöksi. Mitä jäykempi rakenne on, sitä lyhytaikaisempi ja suurempi voima alustaan ja sitä kautta vastavoimana mittalaitteeseen kohdistuu. Pinnan joustavuutta kuvaa pinnan kuormituksen ja siitä aiheutuvan painuman välinen suhde, jota kutsutaan jousto-

moduuliksi. Varsinainen mittaus suoritetaan seuraavasti: Laitetta kallistetaan kantokahvojen avulla siten, että pudotuspaino liukuu laitteen yläpäähän ja tarttuu pudotusmagneettiin. Laite asetetaan halutulle mittauspaikalle siten, että pohjalevy koskettaa koko alaltaan mittauskohtaa. Paino pudotetaan painamalla laitteen päällä olevaa laukaisinta, jolloin painon pudottua pohjalevyllä, näyttöön tulee joustomoduulin arvo E (MPa), painuma (mm) ja kuormitus-aika (ms) painuman huippuun. Joustomittauksessa käytetään toisesta pudotuksesta saatavaa joustomoduuli-arvoa (E_2). Suuri E_2 -arvo merkitsee kovaa kenttää. Kokeita on tarpeen toistaa 3–6 kertaa kutakin pistettä kohti tarkalleen samasta kohtaa, jolloin saadaan E-moduulin maksimi-arvo (pudotuspainolaitteella saavutettava rakenteen tiivein tila) ja tiivistävyysarvo pudotusten joustomoduulin suhteena (esim. E_2/E_1). Lisäksi pudotuspainomittauksesta saadaan iskun kentälle aiheuttama joustokuvaaja (nopeus-aika -kuvaaja). Tutkittujen kenttien jousto mitattiin kultakin kentältä 18 pisteestä eri puolilta kenttää pudottaen kuhunkin pisteeseen 5–6 kertaa.

Tilastomenetelmät

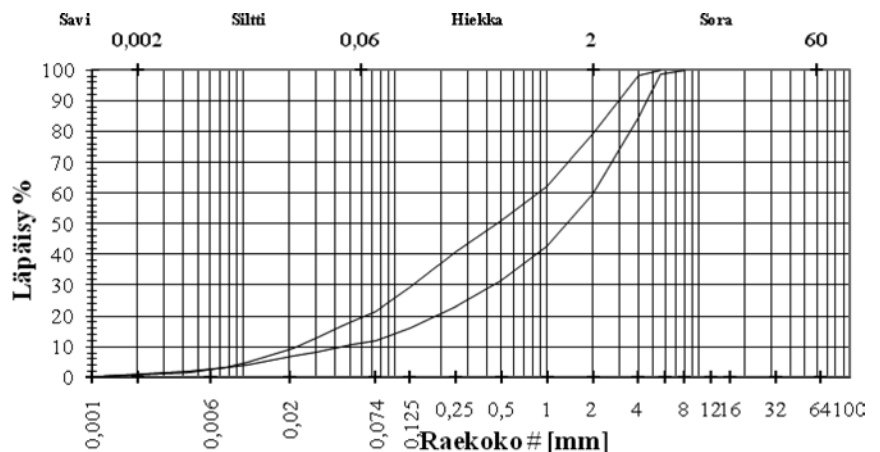
Kahden muuttujan välistä lineaarista riippuvuutta on tarkasteltu Pearsonin korrelaatiokertoimen R ja selitysasteen R^2 perusteella. Lisäksi on laskettu korrelaatiokertoimeen liittyvä p-arvo. Jos p-arvo on pieni, niin korrelaatiota voidaan pitää tilastollisesti merkitsevänä. Yleisimmin rajana käytetään p-arvoa 0,05 (viiden prosentin merkitsevyytaso).

TULOKSET

Tutkittujen kymmenen kivituhkapintaisen pallokentän pintakerrosnäytteiden raekokojakautumat sijoittuvat kuvioissa 1 esitetylle rakeisuusalueelle. Tutkittujen pintakerrosnäytteiden raekosuhte eli rakeisuuskäyrän läpäisyprosenttia 60 vastaavan raekoon suhde läpäisyprosenttia 10 vastaavaan raekokoon (d_{60}/d_{10}) on > 15 . Sen perus-



KUVA 2. Kannettava pudotus-painolaite (Loadman)



KUVIO 1. Eri puolilta Suomea tutkittujen kymmenen pallokentän pintakerrosnäytteiden rakeisuuden vaihtelualue

TAULUKKO 2. Hiekkakenttien pintamateriaalien rakeisuuden tunnuslukuja

Kenttä	d_{50} [mm]	Raekoko- suhde d_{60}/d_{10}	Hienoaines < 0,074 mm [%]	Savipitoisuus [%]	Ominaispinta-ala < 0,074 mm [m ² /kg]
1.	0,47	39,4	21,4	0,7	2790
2.	0,39	23,9	19,2	0,6	2350
3.	0,60	20,0	13,3	0,7	1320
4.	0,61	25,5	14,9	0,5	1790
5.	0,76	49,7	18,3	1,3	2570
6.	0,42	23,4	17,0	0,8	2110
7.	0,46	37,1	19,5	1,4	3210
8.	0,55	30,1	16,2	0,9	3290
9.	1,35	46,6	12,1	1,0	4280
10.	0,63	63,0	21,0	1,2	4370
keskiarvot	0,62	35,9	17,3	0,9	2810

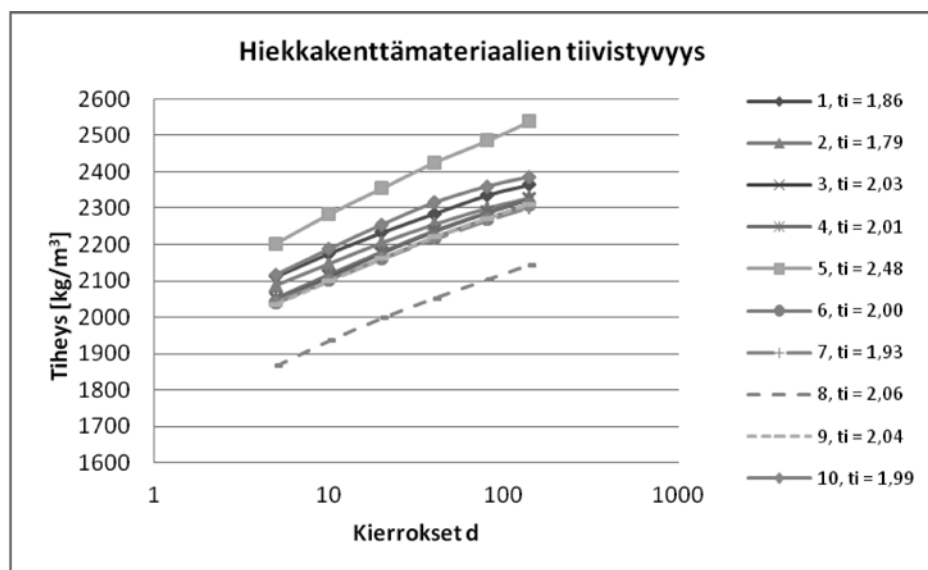
TAULUKKO 3. Laboratoriossa vakiopainekokeella määritetyt vedenläpäisevydet

Kenttä	Vedenläpäisevyys k_{lab} ka. [m/s]	Kuivatilavuuspaino γ_d [kN/m ³]
1.	$2,00 \cdot 10^{-7}$	19,0
2.	$1,05 \cdot 10^{-6}$	19,4
3.	$2,18 \cdot 10^{-6}$	18,4
4.	$1,15 \cdot 10^{-6}$	18,2
5.	$1,68 \cdot 10^{-6}$	19,9
6.	$1,53 \cdot 10^{-6}$	18,4
7.	$1,64 \cdot 10^{-6}$	18,7
8.	$2,45 \cdot 10^{-6}$	17,1
9.	$1,17 \cdot 10^{-6}$	19,2
10.	$1,24 \cdot 10^{-6}$	18,7

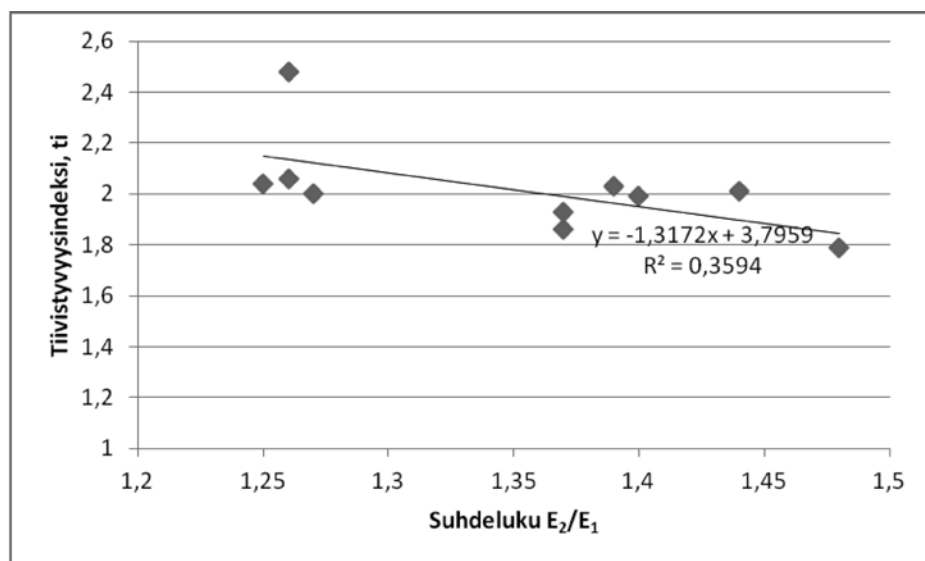
teella niitä nimitetään suhteistuneiksi. Materiaalin hienoaineksen (raekoko < 0,074 mm) määrä, savipitoisuus (raekoko < 0,002 mm) ja ominaispinta-ala kuvaavat materiaalin ominaisuuksia, jotka vaikuttavat materiaalin vedenläpäisy- ja vedensitomiskykyyn sekä pölyämistäipumukseen. Näytteiden hienoainepitoisuudet vaihtelevat välillä 12,1...21,4 prosenttia ja savipitoisuudet välillä 0,5...1,4 prosenttia.

Taulukossa 2 on esitetty tutkittujen kenttien pintamateriaalien rakeisuuskäyristä määritettyjä tunnuslukuja (keskirakekoko d_{50} , raekokosuhte d_{60}/d_{10} , hienoainemäärä, savipitoisuus) ja hienoaineksen ominaispinta-ala.

Tutkitut kenttämateriaalit ovat kaikki suhteistuneita ($d_{60}/d_{10} > 15$) eli ne tiivistyvät hyvin ja hoitamattomina todennäköisesti kovettuvat. Hienoainesta yli 20 prosenttia sisältävä pintamateriaali on kentillä nro 1 ja 10 ja vastaavasti alle 15 prosenttia hienoainesta sisältävä pintamateriaali on kentillä nro 3, 4 ja 9. Suurimmat hienoaineksen ominaispinta-alat (> 4000 m²/kg) ovat kentillä nro 9 ja 10 ja vas-



KUVIO 2. Hiekkakenttien kivituhkamateriaalin tiivistyvyys



KUVIO 3. Hiekkakenttien kivituhkamateriaalin tiivistyvyys joustomoduulien suhteen E_2/E_1 funktiona

taavasti pienimmät ominaispinta-alan arvot löytyvät kentiltä nro 3 ja 4. Hienoaineksen riittävä määrä ja suurehko ominaispinta-ala merkitsevät pääsääntöisesti sitä, että materiaali pysyy pitemmän ajan kosteana, jolloin kentän ominaisuudet (pinnan pito, jousto ja pölyämättömyys) ovat paremmat kuin kuivan kentän. Toisaalta hienoaines ei saa olla liian hienoa (savipitoisuus), jotta kenttä ei kuivuessaan pölyäisi liikaa. Liian suuri hienoainemäärä pienentää pintamateriaalin vedenläpäisevyyttä. Suurimmat savipitoisuudet ovat kenttien nro 5 ja 7 pintamateriaaleilla sekä pienimmät savipitoisuuden arvot ovat vastaavasti kenttien nro 1–4 pintamateriaaleilla.

Vedenläpäisevyyskoetta varten kustakin materiaalista tehtiin kaksi koekappaletta ICT-laitteella tiivistämällä. Vedenläpäisevyyskoekokeista saadut tulokset (vedenläpäisevyyksien mediaanit) on esitetty taulukossa 3. Vedenläpäisevyytuloksista voidaan päätellä, että erot kenttämateriaalien välillä eivät ole pääsääntöisesti kovin merkittäviä. Kuitenkin kentän nro 1 materiaalin vedenläpäisevyys eroaa selvästi muiden kenttämateriaalien vedenläpäisevyydestä. Yksi kentän nro 1

huonoon vedenläpäisevyyteen vaikuttava tekijä on materiaalin hienoaineksen suuri määrä (21,4 prosenttia).

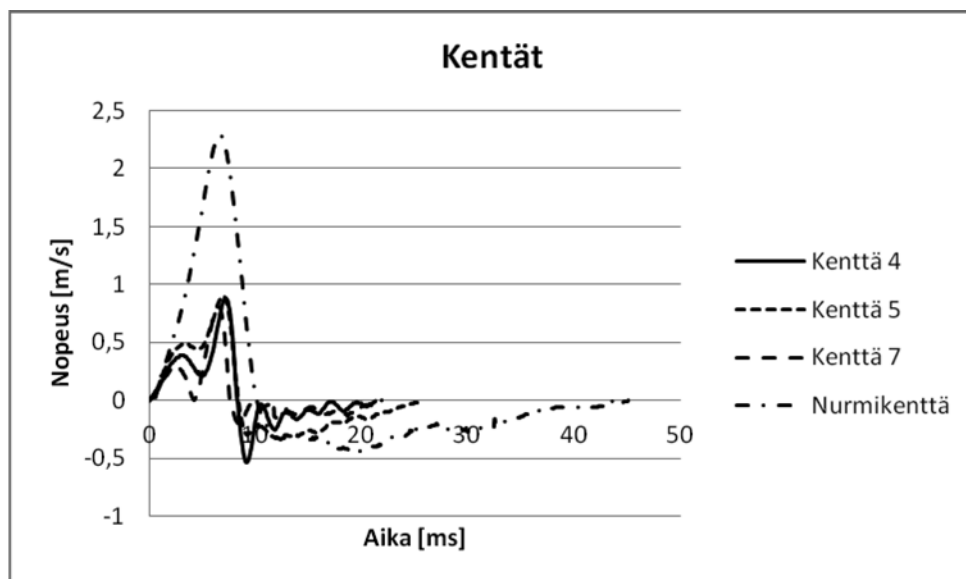
Kuviossa 2 on esitetty laboratoriossa määritetyt kenttämateriaalien tiivistystulokset (märkätiheys [kg/m^3]) kierros määrän d funktiona. Lisäksi kuvassa on esitetty materiaalien tiivistyvyysindeksi t_i , joka on materiaalien loppu- ja alkutiiviyden erotuksen suhde tiivistysmäärään (kierrokset d). Kuviossa 2 nähdään, että materiaalien tiivistyvyyksissä on eroja.

Materiaalin tiivistyvyysindeksi kuvaa lähinnä pinnan uudelleen tiivistymistä hoitotöiden (esim. karhiminen, lanaus) jälkeen. Kuvassa 5 on esitetty kentällä mitattujen joustomoduulien suhteen (E_2/E_1) ja laboratoriossa kenttämateriaalille määritetyn tiivistyvyysindeksin välinen yhteys. Kuvasta voidaan nähdä, että muuttujien välillä on jonkin verran lineaarista yhteyttä ($R = -0,60$, $p < 0,1$). Yhteys on tilastollisesti suuntaa antava.

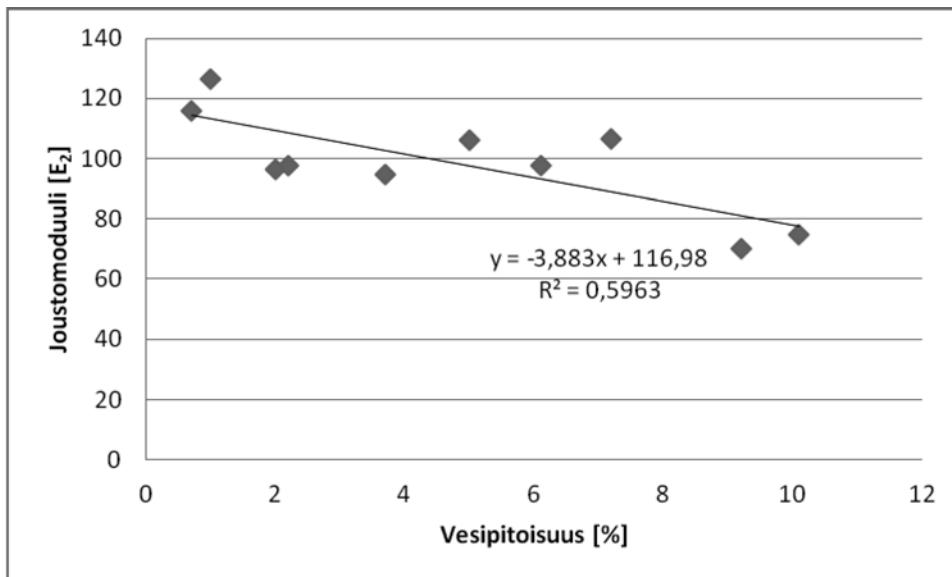
Taulukossa 4 on esitetty tutkituilta hiekkakentiltä mitattujen joustomoduulien (18 mittauspistettä) keskiarvot, keskihajonnat

TAULUKKO 4. Pallokentiltä mitattuja joustomoduuleja (E_2)

Kenttä	Joustomoduuli (E_2) [MPa]	Lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	Materiaalin vesipitoisuus [%]		Materiaalin optimivesi-pitoisuus [%]	
			Pinta	Ilma		
	Keskiarvo	Keskihajonta				
1.	94,7	13,8	29	21	3,7	8
2.	106,2	12,2	29	21	5,0	7
3.	96,6	13,7	12	8	2,0	8
4.	97,5	10,2	14	8	6,1	8
5.	70,1	9,6	14	14	9,2	7
6.	115,8	19,5	4	3	0,7	7
7.	126,4	18,5	13	12	1,0	6
8.	97,8	7,0	14	26	2,2	8
9.	106,4	13,3	3	2	7,2	7
10.	75,0	5,4	4	3	10,1	8,5
Keskiarvo	98,7	12,3				



KUVIO 4. Kolmen joustoltaan erilaisen pallokentän ja erään nurmikentän nopeus-aika – kuvaajat



KUVIO 5. Hiekkakenttien joustomoduulit vesipitoisuuden funktiona

TAULUKKO 5. Tutkittujen hiekkakenttien tiivistyvyysindeksit

Kenttä	Tiivistyvyysindeksi ICT-laitteella	Tiivistyvyyttä kuvaava suhdeluku E ₂ /E ₁
1.	1,86	1,37
2.	1,79	1,48
3.	2,03	1,39
4.	2,01	1,44
5.	2,48	1,26
6.	2,00	1,27
7.	1,93	1,37
8.	2,06	1,26
9.	2,04	1,25
10.	1,99	1,40
Keskiarvo	2,02	1,35

sekä kenttien mittaustulokset ja kosteusprosentit mittaushetkellä. Lisäksi taulukossa 4 on esitetty eri kenttien pintamateriaalien optimaalisen vesipitoisuuden. Taulukosta 4 nähdään, että suurin joustomoduulin (E₂) keskiarvo on mitattu kentältä nro 7 (126,4 MPa) keskihajonnan ollessa 18,5 MPa ja vastaavasti pienin keskiarvo on mitattu kentältä nro 5 (70,1 MPa) keskihajonnan ollessa 9,6 MPa. Kaikkien tutkittujen kivituhkapintaisten jalkapallokenttien joustomoduulien keskiarvojen keskiarvo on 98,7 MPa ja keskihajonnan keskiarvo 12,3 MPa.

Verrattaessa joustomittaustuloksia keskenään on huomioitava kenttien erilainen vesipitoisuus mittaushetkellä. Kentän kosteus vaikuttaa pudotuspainolaitteen iskua ja näin ollen pienentää jonkin verran saatavaa mittaustulosta. Joustomittaustulosten perusteella kovimpien kenttien vesipitoisuudet olivat noin yhden prosentin luokkaa kun taas joustavimmat kentät olivat kosteudeltaan yli optimaalisen vesipitoisuuden.

Kuviossa 4 on esitetty kivituhkapintaisten kenttien 4, 5 ja 7 ja erään

nurmikentän joustokuvaajat. Kuvaajat esittävät pudotuspainolaitteen nopeutta pudotuksen (tutkittavaan alustaan osuneen iskun) jälkeen ajan funktiona. Nopeuskuviossa positiiviset arvot edustavat laitteen liikettä alaspäin eli painumista tutkittavaan pintaan ja negatiiviset liikettä ylöspäin eli syntyneen painuman osittaista palautumista.

Hiekkakentän nopeuskuvajaajat eroavat luonnonnurmikentän kuvaajasta selvästi. Jäykille rakenteille (kivituhkapinta) on tyypillistä kaksihuippuinen nopeuskäyrä aika-akselin yläpuolella ja lyhyempi rakenteen muodonmuutos aika kuin joustavammille rakenteille (luonnonnurmikenttä). Eri puolilta Suomea mitattujen kivituhkapintaisten jalkapallokenttien kuvaajat eivät eroa merkittävästi toisistaan. Kuviossa 4 voidaan kuitenkin nähdä, että joustavimmalla hiekkakentällä nro 5 aika painuman huippuun (nopeus-aika kuvaajan ja aika-akselin leikkauskohhta) on pisin ja palautuva painuma tapahtuu hitaammin verrattuna kovempiin kenttiin.

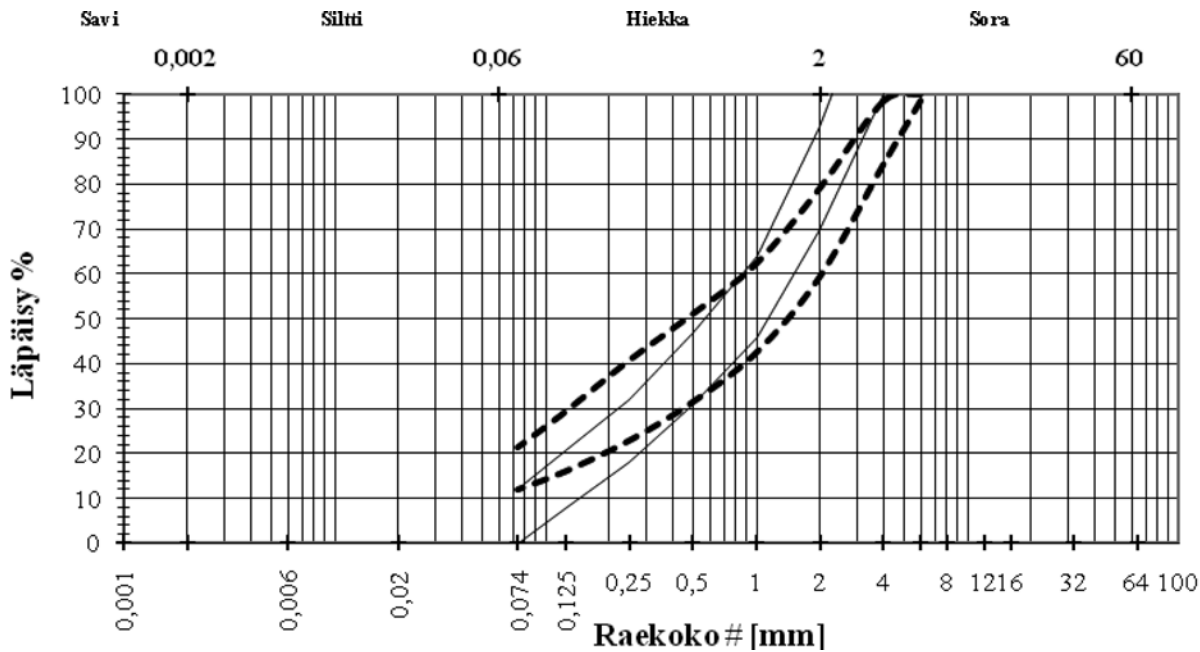
Kuviossa 5 on esitetty kentän vesipitoisuuden vaikutus kentältä mitattuun joustomoduuliin. Kuvion perusteella voidaan todeta, että materiaalin vesipitoisuus vaikuttaa kentän joustomoduuliin; märkänä kenttä joustaa enemmän. Kuviossa voidaan nähdä, että muuttujien välillä on huomattavaa lineaarista yhteyttä ($R = -0,77, p < 0,01$). Yhteys on tilastollisesti merkitsevää.

Taulukossa 5 on koottu yhteen eri kenttien pintamateriaaleille määritetyt tiivistyvyysindeksit ja pudotuspainolaitemittauksista määritetyt tiivistyvyyden suhdeluvut.

Taulukkoa 5 voidaan tulkita siten, että pieni E₂/E₁ suhdeluku merkitsee kiinteää, mittaushetkellä hyvin tiiviissä tilassa olevaa pintaa (koossapysyvää) ja vastaavasti suuri tiivistyvyysindeksi pintamateriaalin helppoa tiivistyvyyttä. Kentän ollessa hyvin märkä (yli materiaalin optimivesipitoisuuden) em. tulkinta ei kuitenkaan välttämättä päde, koska materiaalit voivat reagoida hyvinkin erilaisilla vesipitoisuusmuutoksilla. Jollakin materiaalilla tiivistyvyys on laajalla vesipitoisuusalueella samanlainen, vastaavasti toisen materiaalin tiivistyvyys saattaa riippua merkittävästi materiaalin vesipitoisuudesta.

POHDINTA

Liikuntapaikkojen päällysteiltä edellytetään joustavuutta, jotta liikuntasuoritus olisi turvallinen ja lajin luonteen asettamien vaatimus-



KUVIO 6. Eri puolilta Suomea tutkittujen kymmenen pallokentän pintakerrosnäytteiden rakeisuusalue (katkoviivat) ja kivituhkan rakeisuuskäyrän ohjealue (yhtenäiset viivat). (OPM 82 2002)

ten mukainen. Kovalla, joustamattomalla alustalla raajoihin kohdistuu iskurasituksia, jotka saattavat aiheuttaa erilaisia rasitusvammoja. Jalkapalloilijat pitävät hyvänä luonnonnurmikentän joustavuutta. Hyviksi havaituilla nurmipinta-alueilla jalkapallokentällä on Loadman-laitteella mitattu 20–30 MPa:n joustoarvoja (E_2). Pesäpallossa lajin pelilliset ominaisuudet (pallon vierintä, pomppu- ja kumuralyöntien nousu kentän pinnasta) edellyttävät kovaa kenttää ($E_2 = 70\text{--}140$ MPa).

Tutkittujen kivituhkapintaisten kenttien joustomodulien (E_2) keskiarvo oli 99 MPa, eli kentät ovat suhteellisen kovia jalkapallokäyttöön. Kentän vesipitoisuudella on kuitenkin vaikutusta kentän joustoarvoon. Mikäli kentän pintamateriaali on toisaalta hyvin vettä pidättävää ja toisaalta hyvin vettä läpäisevää (pintamateriaalin ja muiden rakennekerrosmateriaalien oikea rakekokojakautuma) on kenttä mahdollisimman kostea olematta kuitenkaan liejuinen tai lammikkoinen. Pinnan tulee olla niin läpäisevä, että sille satava vesi imeytyy lammikoitumatta pinnan läpi. Tutkittujen kenttien pintamateriaalien vedenläpäisevyys vaihtelee välillä $2,0 \cdot 10^{-7}$ m/s (18 mm/d)– $2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s (211 mm/d). määritettynä laboratoriossa vakiopaineokeella. Esimerkiksi 20 mm:n sade tunnin aikana imeytyy pinnan läpi, jos pinnan vedenjohtavuus on vähintään $6 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Urheilu- ja liikuntakenttien rakentamisohteena on käytössä Opetusministeriön julkaisema ”Urheilukenttien suunnittelu- ja rakentamisopas” vuodelta 2002 (OPM 82). Oppaassa on annettu mm. rakeisuusohjealue, jonka mukaisella materiaalilla pintakerros saadaan tiivistymään riittävästi. Tutkittujen hiekkakenttien kivituhkamateriaalit sijoittuvat kohtuullisen hyvin em. oppaan rakeisuusohjealueelle (kuva 8). Pintamateriaalit sisältävät kuitenkin ohjealuetta enemmän hienoainesta ($< 0,074$ mm), mikä vaikuttaa varsinkin kenttien vedenläpäisevyyteen heikentävästi ja tekee pinnasta kovan kun se on tiivis ja kuiva. Liika hienoaineksen määrä lisää myös irtonaisen ja kuivan pinnan pölyävyyttä. Tutkittujen kahdeksan kentän pintamateriaalien keskiraeko vaihteli välillä 0,39–0,63 mm (ka. 0,52 mm). Kahden kentän pintamateriaalit olivat muita kenttiä karkeampia keskiraekojen ollessa 0,76 ja 1,35 mm (ka 1,10 mm). Materiaalien rakei-

suuskäyräerot eivät ole kovin merkittäviä, joten kentän joustoon vaikuttava päätekijä on pintamateriaalin vesipitoisuus ja tiivistyminen. Samansuuntaisia tuloksia on esitetty muissakin tutkimuksissa (Brosnan & McNitt 2008).

Tutkimuksessa mitattujen hiekkakenttien joustoarvot ovat sopivia pesäpallokäyttöön. Jalkapallokäyttöön kentät ovat varsinkin hoitamattomina liian kovia. Hyvällä hoidolla ylläpidetään kentän optimaalista toimivuutta.

Eri tutkimuksissa on mainittu rasitusvammoille altistaviksi tekijöiksi huonosti iskua vaimentavat jalkineet sekä kovat liikkumisalustat (Parkkari ym. 2004). Kivituhka-alustan laadun ja kunnan merkityksestä vammoja ehkäisevänä tekijänä puuttuu tutkimustietoa. Kenttien kunnan laatuvaatimuksena pitäisi olla, että kenttä mahdollistaa harrastus- ja kilpailutoiminnan. Kentän pitää olla tasainen (ei painautumia, uria) ja tasalaatuinen (ei lajittumia eikä pinnan jouston vaihtelua). Kentän pinnan ei välttämättä tarvitse olla teknurmea, vaan hiekkakenttä on käyttökelpoinen, kunhan kenttää hoidetaan hyvin (kastelu, pinnan karhiminen ja lanaus).

Tässä tutkimuksessa on selvitetty hiekkakenttien jousto-ominaisuuksia ja pintamateriaaleja on analysoitu toiminnallisesti (vedenläpäisevyys, tiivistyvyys). Ominaisuuksissa on hyvin paljon vaihtelua. Tutkitut kentät olivat pääsääntöisesti kovia. Pääsyyntä kenttien kovuuteen oli pintamateriaalin pieni vesipitoisuus. Tarvitaan kuitenkin lisätutkimusta kentän kovuuden tutkimiseksi kontrolloiduissa olosuhteissa mitaten samalla pintakerroksen ja alapuolisen kerroksen tiiviyttä. Lisätutkimus edellyttää selvempää syy-yhteyttä pinnan olosuhteiden (vesipitoisuus), kentän rakenteen ja hoidon (pintakerroksen karhinta) vaikutuksesta kentän kovuuteen. Jatkossa pitäisi selvittää myös tarkemmin hiekkakentän pintamateriaalin ja hoitotoimenpiteiden vaikutusta kentän käyttäjän vammautumiseen.

Tehtyyn tutkimukseen yhteenvedon voidaan todeta, että pinnan optimaalinen vesipitoisuus parantaa selvästi kentän joustavuutta, joten kentänhoidossa pitäisi kiinnittää enemmän huomiota kentän vesipitoisuuteen kostelemalla kenttää aina tarvittaessa. Lisäksi kirjallisuudessa (Brosnan ym. 2009; Pratt 1968) on todettu, että kentän

pinnan karhminen lisää kentän joustoa. Kentänhoitajat voivat lisätä kenttien karhintaa pehmentääkseen kovettunutta kenttää (Brosnan ym. 2009). Kentän pinnan kiinteyttä voidaan arvioida suuntaa antavasti joustomittausten tiivisyysuhteena; toisen mitatun joustomoduulin (E_2) suhteena ensimmäiseen mittaustulokseen (E_1). Hyvin tiivistyvä pintamateriaali kiinteytyy kentän pintaan huonosti tiivistyvää helpommin.

KIIITOKSET

Haluan esittää erityiskiitokset KM, erityisopettaja Annikki Torikalle saamastani kannustuksesta sekä työn kielellisen ilmaisuuden tarkastuksesta. Lisäksi kiitän opiskelija Miikka Laaksosta avusta tutkimustyössä.

LÄHTEET

- Ahonen, J. & Lahtinen, T.** 1988. Lihastasapaino ja ryhti. Teoksessa Ahonen, Jarmo., Lahtinen, Tiina., Sandström, Marita., Pogliani, Giuliano & Wirhed, Rolf. Kehon rakenne, toiminta ja lihahuolto. Jyväskylällä: Gummerus Kirjapaino Oy
- Brosnan, J. T., McNitt, A. S. & Serensits, T. J.** 2009. Effects of varying surface characteristics on the hardness and traction of baseball field playing surfaces. International Turfgrass Society. Research Journal Volume 11, 2009.
- Brosnan, J. T. & McNitt, A. S.** 2008. Surface Conditions of Highly Maintained Baseball Fields in the Northeastern United States: Part 1, Non-Turfed Basepaths. Applied Turfgrass Science doi:10.1094/ATS-2008-0520-01-RS.
- Ekstrand, J. & Nigg, B. M.** 1989. Surface-Related Injuries in Soccer. Sports Medicine 8(1):56–62.
- Ferris, D., Liang, K. & Farley, C.** 1999. Runners adjust leg stiffness for their first step on a new running surface. Journal of biomechanics. 32, 787–794.
- Gregg, S. J. & Sing, K. S. W.** 1982. Adsorption, Surface Area and Porosity. Academic Press. London
- Guisasola, I.** 2008. Human–natural sports surface interaction. Cranfield University School of Applied Sciences. Centre for Sports Surface Technology. 2008. Thesis
- Hiekkatekonurmiopas. OPM 62.** 1997. Opetusministeriö. Liikuntapaikkajulkaisu 62.
- Komi, P., Gollhofer, A., Schmidtbleicher, D. & Fric, U.** 1987. Interaction between man and shoe in running: Considerations for more comprehensive measurement approach. International journal of sports medicine. 8, 196–202.
- Koulupihojen liikuntaolosuhteet.** 2003. Valtakunnallinen tutkimus, Nuori Suomi ry.
- Liikuntapaikkarakentamisen suunta 2011.** 2008. Opetusministeriön julkaisu 208:45. Valtion liikuntaneuvosto. Opetusministeriö. Kulttuuri-, liikunta- ja nuorisopolitiikan osasto.
- “Loadman II” kannettava pudotuspainolaite muistilla.** 2002. AL-Engineering Oy
- Nieminen, P.** 1985. Moreenin hienoaineksen laatu ja sen vaikutus routimisherkyyteen. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 34. Tampere.
- Nigg, B. M. & Segesser, B.** 1988. The influence of playing surfaces on the load on the locomotor system and on football and tennis injuries. Sports Med. 1988 Jun;5(6):375–85.
- Otago, L., Swan, P., Chivers, I., Finch, C., Payne, W. & Orchard, J.** 2007. Ground conditions and injury risk – implications for sports grounds assessment practices in Victoria. School of Human Movement and Sport Sciences University of Ballarat.
- Parkkari, J., Jussila, A.-M., Koskela, J., Pasanen, K. & Hiilloskorpi, H.** 2010. Liikuntatapaturomat. Terveystien ja hyvinvoinnin laitos. Tapaturmakatsaus 2010.
- Parkkari, J., Kannus, P. & Fogelholm, M.** 2004. Liikuntavammat – suurin tapaturmaluokka Suomessa. Suomen Lääkärilehti 41/2004 vsk 59.
- Pratt, G.W.** 1968. Racing surfaces- A survey of mechanical behavior. Proceedings of the American Association of Equine Practitioners. Pgs 321–331.
- Urheilukenttien suunnittelu- ja rakentamisopas. OPM 82.** 2002. Opetusministeriö. Liikuntapaikkajulkaisu 82.
- Urheilulaitokset. RIL 118.** 1980. Suomen rakennusinsinöörien liitto.