

LEIKKIKENTTIEN TURVAHIEKKOJEN ISKUNVAIMENNUS- OMINAISUUDET ERI KOSTEUSOLOSUHTEISSA

TAPANI JÄNISKANGAS

Yhteyshenkilö: Tapani Jäniskangas, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos,
Maa- ja pohjarakenteet, PL 600, 33101 Tampere
Puh: 040-7376791, sähköposti: tapani.janiskangas@tut.fi

TIIVISTELMÄ

Jäniskangas T. 2010. Leikkikenttien turvahiekköjen iskunvaimennusominaisuudet eri kosteusolosuhteissa. Liikunta & Tiede 47 (6), 61–66.

■ Leikkikenttävälineitä koskevissa standardeissa on esitetty esimerkkejä tavallisimmin käytetyistä iskua vaimentavista kiviaineksista.

Tässä tutkimuksessa mitattiin laboratorioissa leikkikenttävälineiden putoamisalustoina yleisesti käytettyjen niin sanottujen turvahiekköjen iskunvaimennusominaisuuksia. Tutkimuksessa testattiin kymmenen hiekkaa ja kymmenen soraa. Leikkivälineiden putoamisalustojen materiaalien iskunvaimennusta mitattiin testauslaitteistolla, jossa on kiihtyvyyssanturilla varustettu ohjattu mittapää. Kiviaineksesta rakennetun putoamisalustan iskunvaimennukseen vaikuttavimmat materiaalittekijät ovat: keskiraekoko (d_{50}), raekokosuhte (d_{60}/d_{10}), hienoainesmäärä ($< 0,063$ mm) ja raemuoto.

Tutkimuksen mukaan kostealla materiaalilla on merkittävästi huonommat iskunvaimennusominaisuudet kuin kuivalla materiaalilla. Tutkituista kosteista (vesipitoisuus > 1 %) kiviaineksista parhaat iskunvaimennusominaisuudet oli keskisoralla ja huonoimmat hiekoilla. Merkittävin vaikutus kiviaineksen iskunvaimennusominaisuuksiin on raekokosuhteella. Tutkituilla kiviaineksilla, joilla raekokosuhte oli enintään 1,7, oli n. 45 % parempi iskunvaimennustaso kuin raekokosuhteeltaan yli 2,3 olevilla kiviaineksilla. Tutkittujen hiekköjen iskunvaimennusominaisuudet riittävät putoamisalustaksi keinujen alle. Esimerkiksi kiipeilytelineiden putoamisalustamateriaaliksi niiden iskunvaimennustaso ei kuitenkaan riitä. Tasarakeisen keskisoran iskunvaimennus vastaa ”turvallista” putoamista 2,2 metrin korkeudelta, joten materiaali kelpaa myös monien kiipeilytelineiden alle. Tutkittujen hiekköjen raemuodon merkityksestä iskunvaimennukseen ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

Tehdyn tutkimuksen yhteenvedona voidaan todeta, että turvahiekköjen iskunvaimennusominaisuudet paranevat, kun sen keskiraekoko kasvaa ja raekokosuhte pienenee. Lisäksi vesipitoisuuden kasvaessa hienorakeisilla hiekoilla iskunvaimennus heikkenee enemmän kuin karkearakeisilla sorilla.

Asiasanat: leikkikentät, iskunvaimennusominaisuudet, HIC-arvo, kriittinen putoamiskorkeus, pudotustesti, turvahiekka, kiihtyvyyys

ABSTRACT

Jäniskangas T. 2010. Impact attenuation properties of safety sands beneath playground equipment in different moisture conditions. Liikunta & Tiede 47 (6), 61–66.

■ Standards on playground equipment provide examples of commonly used impact attenuating aggregates.

The impact attenuation of generally used playground safety sand surfacings was measured in the laboratory with a uniaxial accelerometer attached inside a guided headform. Ten sands and ten gravels were tested. The main material properties of safety sand affecting its impact attenuation are: medium grain size (d_{50}), uniformity coefficient (d_{60}/d_{10}), amount of fines (< 0.063 mm) and grain shape.

The test results indicate that water content significantly influences the test results of the materials. The shock-absorbing qualities of wet materials were significantly worse than those results of the dry materials. In the case of the studied wet (water content > 1 %) safety sands, the shock-absorbing qualities of medium gravels were clearly better than those of wet sands. The most significant factor in relation to impact attenuation is the uniformity coefficient. The studied safety sands whose uniformity coefficient was 1.7 or lower had about 45 % better shock absorbing capacity than those whose with a uniformity coefficient was over 2.3. The impact attenuation properties of the studied sands are sufficient for use as an impact base beneath swings. However, for example climbing equipments, demand more attenuation. Well graded medium gravel is “safe” for up to 2.2 m falling height and is thus suitable beneath many climbing equipments. The shape properties of the sand grains varied, however, which means that their effect on shock-absorbing qualities requires further study.

In summary, it can be concluded that the impact attenuation of a safety sand improves as its medium grain size increases and uniformity coefficient decreases. On the other hand, as water content increases, impact attenuation decreases more in the case of fine granular sands than course gravels.

Keywords: playgrounds, impact attenuation, head injury criterion, critical fall height, drop test, safety sand, acceleration

JOHDANTO

Julkisia leikkipaikkoja koskevia turvanormeja eli turvallisuusstandardeja käsitellään SFS-EN standardeissa 1176 ja 1177. Ne on vahvistettu Suomessa ja niitä noudattamalla ei leikkivälineiden valmistajaa, leikkipaikan suunnittelijaa tai leikkipaikan omistajaa voida onnettomuustapauksessa syyttää turvallisuuden laiminlyönnistä. Viranomaisvalvonnasta vastaavat Suomessa kuluttajavirasto ja kuntien terveystarkastajat. Kesällä 2003 kuluttajaviraston, lääninhallitusten ja kuntien toimesta tehdyssä leikkikenttätarkastuksessa tutkittiin 906 leikkikenttää eri puolilla Suomea. Tarkastuksessa huomautettavaa löytyi mm. iskuva vaimentavista putoamisalustoista. Esimerkiksi keinoissa suurin vaaratekijä oli huonon iskunvaimennuksen omaava putoamisalustamateriaali. (Kuluttajavirasto 2003)

Standardissa SFS-EN 1177 (2008) edellytetään, että leikkikenttävälineiden alla on koko putoamisalueen kattava iskuva vaimentava pintamateriaali, jos vapaa putoamiskorkeus välineeltä on enemmän kuin 600 mm. Putoamiskorkeuden ollessa yli 1 m alustan tulee olla turvahiekkaa tai tarkoitukseen erityisesti valmistettua turva-alustaa. Standardissa SFS-EN 1176 (2008) esitetään, että leikkikenttien yleisimmin käytettyjä iskuva vaimentavia kiviainesmateriaaleja ovat: hiekka, raekoko 0,2 mm...2 mm ja sora, raekoko 2 mm...8 mm. Raemuodolle ei ole esitetty vaatimuksia. Suomessa yleinen putoamisalustamateriaali on seulottu/pesty luonnon hiekka tai sora. Kivennäismaalajit nimetään d_{50} -menetelmällä. Maalaji saa tällöin sen pääajitte nimen, jonka alueella maalajin rakeisuusikäyrän läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko sijaitsee. Kivennäismaalajin rakeisuus voidaan määrittää seulomalla tutkittava näyte. Seulonnan tulos ilmoitetaan kunkin seulan läpäisseen materiaalin prosentiosuutena koko näytteestä (paino-%). Seulonnan tulosten perusteella voidaan piirtää tutkittavan näytteen eräitä fysikaalisia ominaisuuksia kuvaava rakeisuusikäyrä. Testattaville materiaaleille määritettiin rakeisuusikäyrästä seuraavat tunnusluvut: keskiraekoko d_{50} , raekokosuhte d_{60}/d_{10} ja hienoainemäärä (seulan # 0,063 mm läpäissyt aines). Raekokosuhdetta d_{60}/d_{10} käytetään maalajin suhteistuneisuuden mittana. Kosuhde on koko rakeisuusikäyrän 60 %:n läpäisyä vastaavan raekoon (d_{60}) suhde 10 %:n läpäisyä vastaavaan raekokoon (d_{10}). Maalaji on tasarakeinen, jos sen raekokosuhte on ≤ 5 , sekarakeinen, jos sen raekokosuhte on > 5 ...15 ja suhteistunut, jos sen raekokosuhte on > 15 (Korhonen & Gardemeister 1975). Suhteistuneen kiviaineksen rakeisuusikäyrä on yleensä säännöllisesti jatkuva ja kovera. Sen sijaan tasarakeisen kiviaineksen rakeisuusikäyrä on jyrkkä. Mitä jyrkempi rakeisuusikäyrä on, sitä lajittuneempi on myös aines. Hyvin lajittuneen aineksen rakeisuusikäyrä kulkee lähinnä vain yhden tai kahden raekokoluokan alueella (Uusinoka 1984). Tasarakeinen materiaali tiivistyy huonommin kuin suhteistunut materiaali.

Suomessa hiekka on pääosin sileäpintaista ja pallomaista. Syynä tähän on kiteisestä kallioperästämme kuluneiden mineraalien (kvartsi, maasälvät) kovuus sekä erityisesti jääkausien vaikutus, jolloin jää murskasi ja hieroi kiviainesta sekä yhdessä sulamisvirtojen kanssa pyörästi sitä.

Alustan iskunvaimennus on ominaisuus, joka vähentää törmäyksen liike-energiaa alustan muodonmuutoksen tai alustamateriaalin siirtymisen ansiosta siten, että kiihtyvyys pienenee. On yleisesti hyväksytty, että päähän ei aiheudu hengenvaarallisia vammoja, jos päähän kohdistuva kiihtyvyys (g-max) ei ylitä 200 g (Laforest ym. 2001). Kuitenkin Laforest ym. (2001) ovat tutkimuksissaan todenneet, että putoamisalustan iskunvaimennuksen hyväksyttävän maksimi-g-arvon pitäisi olla alle 200 g ja jopa alle 150 g. Tärkeä päään vammojen syntymiseen vaikuttava tekijä on myös aika, jonka kiihtyvyys päähän vaikuttaa. Pään kiihtyvyydestä ajan funktiona lasketun HIC-arvon (Head Injury Criterion) maksimi 1000 on kriittinen arvo.

Päähän kohdistuvan iskun ei uskota olevan hengenvaarallinen, jos HIC-arvo on enintään 1000. Nykyisissä putoamisalustan iskunvai-

mennusta koskevista standardeissa edellytetään koko putoamisalueen kattavalla alueella enintään 200 g maksimikihtyvyyttä ja korkeintaan HIC-arvoa 1000 (ASTM F1292: 1991; AS/NZS 4422: 1996). Useat tutkijat ovat esittäneet, että nämä arvot ovat liian korkeita ja niitä pitäisi pienentää, jotta putoamisvammojen määrä ja niiden vaarallisuus vähenisi (Eager & Chapman 2004).

Putoamisalustan iskunvaimennuksen testauksessa voidaan käyttää vapaasti putoavaa metallista mittapäätä (simuloi lapsen päätä), joka on varustettu kolmiakselisella kiihtyvyyssanturilla. Testaus voidaan tehdä myös ohjatulla mittapäällä, joka on varustettu yksiakselisella kiihtyvyyssanturilla. (SFS-EN 1177: 2008)

Vapaa putoamiskorkeus leikkikenttävälineeltä määritellään suurimmaksi mahdolliseksi pystysuoraksi etäisyydeksi mahdollisesta putoamiskohdasta alapuolella olevalle putoamisalueelle. Esimerkiksi keinun vapaa putoamiskorkeus määräytyy istuimen etäisyydestä putoamisalustaan keinun ollessa 60 asteen kulmassa lepotilasta. Eräissä (Jäniskangas 1998, julkaisematon) Helsingin seudulla tehdyssä leikkikenttätutkimuksessa (10 kenttää) vapaa putoamiskorkeus keinusta oli luokkaa 1,35...1,45 m ja kiipeilytelineiltä jopa yli 2 m. Suurin sallittu putoamiskorkeus leikkivälineeltä on 3,0 m. Iskunvaimennukseltaan hyväksyttävä putoamisalusta on sellainen, jonka kriittinen putoamiskorkeus on suurempi kuin välineen vapaa putoamiskorkeus (SFS-EN 1177: 2008).

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia raeominaisuuksiltaan (raekoko-jakautuma, raemuoto) ja vesipitoisuudeltaan erilaisten kiviainesten vaikutusta iskunvaimennusominaisuuksiin. Tutkittavana oli kymmenen hiekkaa ja kymmenen soraa.

Tässä tutkimuksessa putoamisalustan hyväksyttävänä iskunvaimennuksena pidettiin mittapään maksimipudotuskorkeutta (= kriittinen putoamiskorkeus), jossa mittapään kohdistuva kiihtyvyys (g-max) ei ylitä arvoa 200 g eikä HIC-arvo ylitä arvoa 1000.

TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

Tutkitut materiaalit

Suomessa iskunvaimennusominaisuuksia omaaville luonnon kiviaineksille on vakiintunut nimitys turvahiekka/turvasora. Tässä tutkimuksessa käytetään em. materiaaleista nimitystä turvahiekka. Tutkimuksessa oli testattavana 20 yleisesti leikkikenttien putoamisalustamateriaalina käytössä olevaa turvahiekkaa. Tutkimuksessa testattavat turvahiekat olivat geoteknisen maalajiluokituksen (Korhonen & Gardemeister 1975) keskiraekoon mukaan luokiteltuna: keskiahiekka (3 kpl), karkeahiekka (5 kpl), sorainen hiekka (2 kpl) hienosora (7 kpl) hiekkainen sora (2 kpl) ja keskisora (1 kpl). Turvahiekkokkoja testattiin eri kosteusolosuhteissa.

Raemuoto

Raekokojakautumalla ei saada selville rakeiden muotoa. Suurempien rakeiden muoto voidaan nähdä silmämääräisesti, mutta pienempien hiekkarakeiden muoto on vaikeampi nähdä. Testattavien hiekkokojen raemuotoa arvioitiin Sand Flow Cone-testillä, joka perustuu uusiseelantilaiseen standardiin (NZS 3111:1986). Testillä voidaan nopeasti arvioida hiekkarakeiden suhteellista kulmikkuutta tai pyörästyneisyyttä. Laitteisto (kuva 1) koostuu valutuskartiosta, jossa on ruostumattomasta teräksestä valmistettu valutusaukko, telineestä, vastaanottoastiasta sekä ylivalutusastiasta. Testillä tutkitaan kiviaineksen tyhjätilaa ja valumisaikaa. Valumisaikaan ja tyhjätilaan vaikuttavat pääasiassa materiaalin rakeisuusikäyrä, yksittäisten rakeiden muoto sekä rakeiden pinnankarkeus. Eri turvahiekkokojen raemuotoa voidaan arvioida vertailemalla toisiinsa niistä Sand Flow Cone-laitteistolla määritettyjä valumisaikoja (vrt. tiimalasi eli hiekkakello). Hiekan rakeiden muotoa voidaan tutkia myös muilla menetelmillä kuin Sand

Flow Cone-testillä, esimerkiksi kuva-analyysin avulla.

Luonnon kiviainesrakeiden raemuoto on enemmän tai vähemmän pyörästynyt ja sileäpintainen. Murskatun kiviaineksen raemuoto on särmiäs ja karkeapintainen. Pyöreämuotoiset rakeet valuvat nopeammin kuin särmiäiset rakeet.



Valokuva: Miikka Laaksonen

KUVA 1. Sand Flow Cone -laitteisto

Iskunvaimennuksen mittaus

Turvahiekköiden iskunvaimennus mitattiin laboratoriossa 20 °C ± 5 °C lämpötilassa pudotustestillä. Materiaaleja testattiin eri vesipitoisuuksissa. Materiaalin testaus tehtiin pohjasta avoimessa kehikossa, jonka sisämitat olivat 1 m * 1 m. Betonilattian päälle asetettuun laatikkoon levitettiin testattavaa materiaalia 20 cm:n paksuisena kerroksena. Tässä tutkimuksessa käytettiin ohjattua mittapäättä putoamisalustan iskunvaimennuksen mittaamiseen (pudotustesti, kuva 2). Testauslaitteiston mittapäättä pudotetaan kolme kertaa peräkkäin samasta pudotuskorkeudesta samaan testauskohtaan käsittelemättä putoamisalustamateriaalia millään tavoin testin aikana. Näin otetaan huomioon materiaalin mahdollisen tiivistymisen aiheuttamat vaikutukset. Kolmannen pudotuksen g-max / HIC-arvo on mittaustulos kyseiseltä pudotuskorkeudelta. HIC-arvo lasketaan jokaiselle aika/kiihtyvyyssäilylle seuraavasta kaavasta (SFS-EN 1177: 2008) :

$$HIC = \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \right\}_{max}$$

kaikille aikaväleille (t_1 , t_2), joiden t_{start} :n ja t_{end} :n välinen mittaustaajuus on vähintään 8000 Hz, jossa t_{start} on aika pudotuksen alussa, kun mittapään kiihtyvyys on nolla tai yli nollan

t_{end} on aika pudotuksen lopussa, kun mittapään kiihtyvyys on nolla tai alle nollan

a on mittapään kiihtyvyys, joka ilmaistaan yksiköllä g (maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys)

t_1 , t_2 ovat mitkä tahansa kaksi t:n arvoa t_{start} :n ja t_{end} :n välillä, aika t ilmaista millisekunteina.

Kolmen pudotuksen testisarja toistettiin vähintään kolmelta muulta pudotuskorkeudelta niin, että mittauksilla saatiin selville kriittinen putoamiskorkeus. Pudotuskorkeuksien vaihdon välillä testikehikko tyhjennettiin ja täytettiin uudelleen.



Valokuva: Tapani Jäniskangas

KUVA 2. Pudotustesti testattavalle turvahiekalle

TULOKSET

Taulukossa 1 on esitetty tässä tutkimuksessa testattujen turvahiekköiden keskiraekoko, raekokosuhte, hienoainesmäärä ja raekoon 1–2 mm valumisaika.

Sand Flow Cone -testillä pyrittiin selvittämään hiekköiden välisiä eroja saman raekoon (1–2 mm) valumisaikojen suhteen (taulukko 1). Tuloksissa on havaittavissa selvä säännönmukaisuus, sillä murskeen (särmiäs raemuoto) valumisaika on selvästi pitempi kuin luonnonmateriaalien. Valumisajoista voidaan päätellä raemuodon pyörästynäisyys/raepintojen sileys. Mittauksissa ilmenee raemuodon vaikutus hyvin, etenkin jos tutkitaan materiaaleja, joilla on samanlaiset rakeisuuskäyrät (esim. raekoko 1-2 mm). Tällöin rakeisuuskäyrän vaikutus häviää lähes täysin. Taulukon 1 tuloksista voidaan havaita, että hiekka nro 10 valui kokeessa nopeimmin (pyöreämuotoinen, runsaasti kvartseja sisältävä hiekka) ja murske hitaimmin (särmiäs raemuoto). Märän hiekan nro 10 iskunvaimennus oli testatuista hiekoista toiseksi paras. Suurimmalla osalla hiekoista valumisajat eivät poikenneet paljoakaan toisistaan.

Kuvassa 3 on esitetty keskiraekooltaan erilaisten turvahiekköiden kriittiset putoamiskorkeudet ($g_{max} \leq 200$ g tai $HIC \leq 1000$). Kuvasta 3 voidaan nähdä, että sorilla (keskiraekoko $d_{50} > 2$ mm) on merkänä parempi iskunvaimennusominaisuus kuin hiekoilla. Tutkituista sorista keskiraekooltaan kahdella karkeimmalla saavutettiin testissä merkänä suurimmat kriittiset putoamiskorkeudet. Mittaustulosten mukaan testaustuloksiin vaikuttaa merkittävästi kiviaineksen vesipitoisuus. Tutkimuksessa kiviaines katsottiin määräksi, kun sen vesipitoisuus oli yli 1 paino-%. Käytännön testaustyössä tämä ero näkyy materiaalin käyttäytymisessä testin aikana. Mittapään pudotusten jälkeen merkänä materiaaliin jää mittapään muotoinen kiinteä

TAULUKKO 1. Turvahiekköjen rakeisuuskäyrästä määritetyt tunnusluvut ja Sand Flow Cone-testillä saadut raekoon 1–2 mm valumisaajat

Turvahiekka	Nimitys	Keskiraekoko, d_{50} [mm]	Raekokosuhte d_{60}/d_{10}	Alle 0,063 mm rakeiden osuus [%]	Raekoon 1-2 mm valumisaika [sek]
Hk 1	keskihiekka	0,38	3,3	2,6	34,0
Hk 2	keskihiekka	0,43	3,7	2,1	34,1
Hk 3	karkeahiekka	0,85	3,8	0,3	33,3
Hk 4	karkeahiekka	1,11	3,0	0,8	33,7
Hk 5	karkeahiekka	1,15	4,4	1,5	32,0
Hk 6	sorainen hiekka	1,19	5,3	1,4	32,6
Hk 7	karkeahiekka	1,37	2,5	0,4	30,9
Hk 8	sorainen hiekka	1,57	6,9	0,9	32,6
Hk 9	keskihiekka	0,36	2,3	0	29,5
Hk 10	karkeahiekka	0,94	1,8	0	29,4
Sr 1	hiekkainen sora	2,20	2,6	0,7	**)
Sr 2	hiekkainen sora	2,64	2,7	0,1	**)
Sr 3	hienosora	2,70	2,6	0	**)
Sr 4	hienosora	2,89	3,2	1,3	**)
Sr 5	hienosora	2,90	3,3	1,2	**)
Sr 6	hienosora	3,10	2,8	0,2	**)
Sr 7	hienosora	3,15	1,7	0,1	**)
Sr 8	hienosora	3,18	2,9	0,2	**)
Sr 9	hienosora	3,20	3,2	0,2	**)
Sr 10	keskisora	6,59	1,6	0,8	**)
	murske *)				40,2

*) Särmiä vertailumateriaali, johon voi verrata hiekköjen valumisaikojia

***) Ei tehty, raekoko pääasiassa yli 2 mm

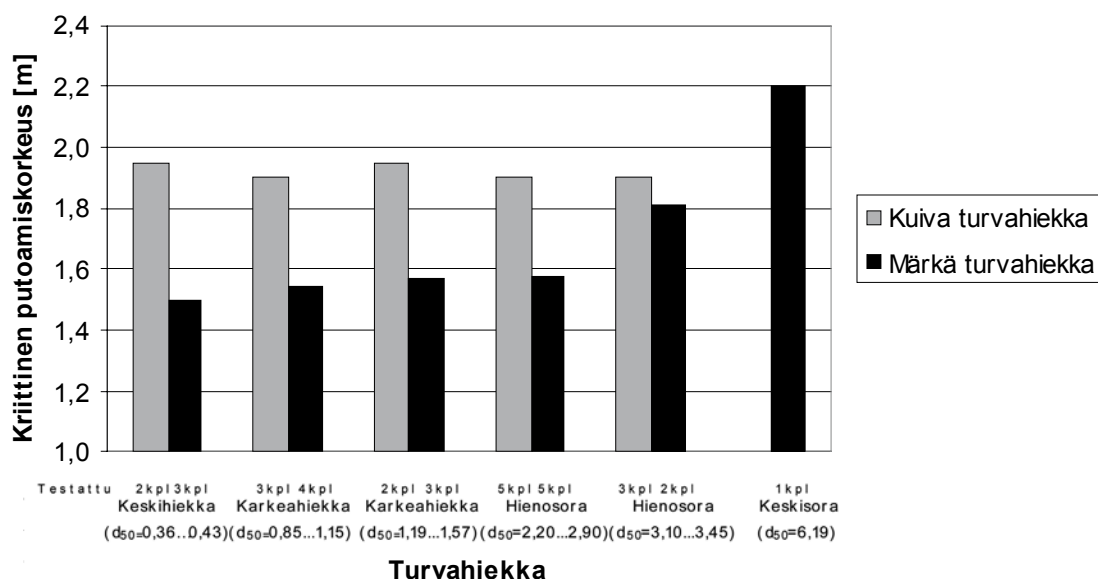
kuoppa joka pudotuksen jälkeen, ts. materiaali tiivistyy (parhaiten optimivesipitoisuudessa). Kuivaa turvahiekkää testattaessa kuoppaan valuu materiaalia nostettaessa kolmannen pudotuksen jälkeinen mittaustulos oli usein pienempi kuin toisen pudotuksen jälkeinen mittaustulos. Näin ollen materiaali ei tiivisty samalla tavalla kuin märkänä. Tutkituilla turvahiekoilla ei määritetty optimivesipitoisuutta vaan seurattiin mittapään tiivistämisen kuopan käyttäytymistä. Kuopan pysyessä kiinteänä katsottiin materiaalin olevan märkää, muussa tapauksessa kuivaa. Testattaessa materiaaleja kuivina hiekköjen ja sorien kriittisissä putoamiskorkeuksissa ei ollut merkittäviä eroja.

Kuvassa 4 on esitetty yksittäisten eri vesipitoisuuksiin (0,1-5,7 %) rakennettujen 0,2 m paksuisten turvahiekkakerrosten, joiden $d_{50} = 1,15-2,89$ ja $d_{60}/d_{10} = 2,6-4,4$, testauksessa saavutetut kriittiset putoamiskorkeudet. Kuvasta voidaan nähdä, että vesipitoisuus vaikuttaa suuresti testaustuloksiin.

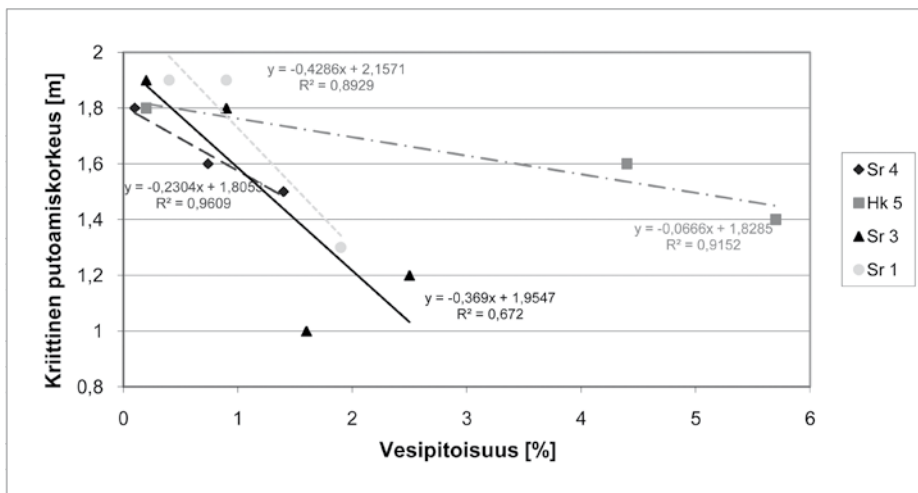
Kuvassa 5 on esitetty raekokosuhderyhmittäin erilaisten märkien turvahiekköjen kriittisten putoamiskorkeuksien keskiarvotulos raekokosuhte-ryhmittäin. Kuvasta voidaan nähdä, että selvästi suurimmat kriittiset putoamiskorkeudet saavutetaan sorilla, joiden raekokosuhteet ovat korkeintaan 1,7.

Kuvassa 6 on esitetty keskiraekoon ja raekokosuhteen yhteisvaikutus niiden suhdelukuna ja verrattu tätä turvahiekan kriittiseen putoamiskorkeuteen. Kuvan perusteella voidaan todeta, että suhdeluku keskiraekoko/raekokosuhte korreloi hyvin materiaalille määritetyn kriittiseen putoamiskorkeuden kanssa. Toisin sanoen määrän turvahiekan iskunvaimennusominaisuudet paranevat, kun materiaalin keskiraekoko kasvaa ja raekokosuhte pienenee.

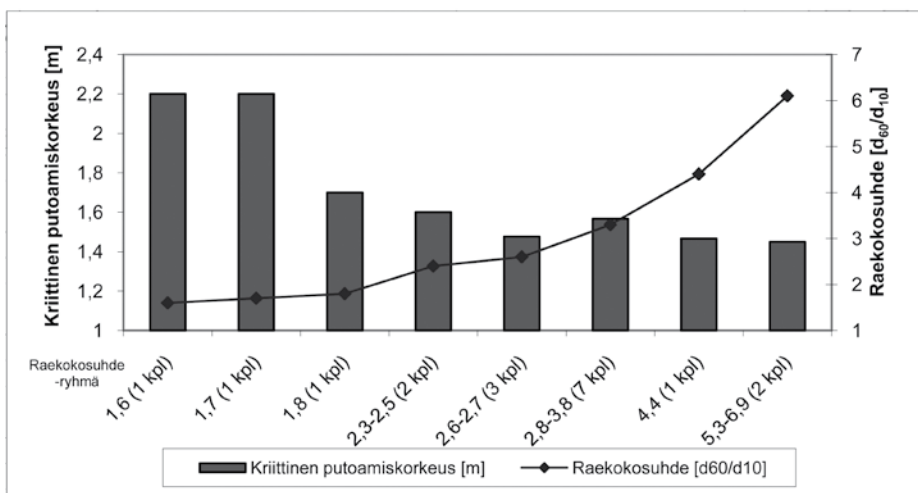
Käytännön kannalta iskunvaimennusominaisuuksiltaan parhaita ovat tasarakeiset maksimirakooltaan ≤ 8 mm olevat sorat. Huonoimmat iskunvaimennusominaisuudet ovat hienoimmilla hiekoilla.



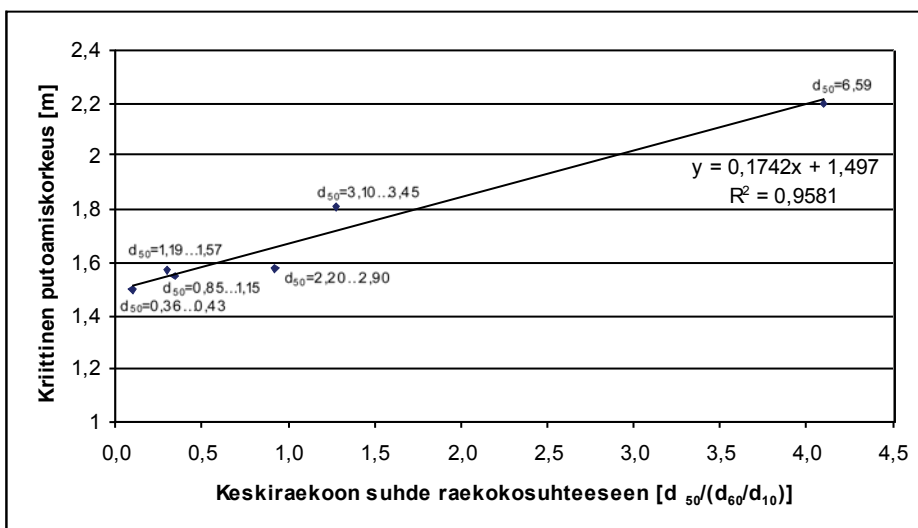
KUVA 3. Keskiraekooltaan (d_{50}) erilaisten turvahiekköjen kriittinen putoamiskorkeus kuivana (vesipitoisuus $\leq 1,0$ %) ja märkänä (vesipitoisuus $> 1,0$ %)



KUVA 4. Erialaisten turvahiekköjen kriittinen putoamiskorkeus vesipitoisuuden funktiona



KUVA 5. Märkien turvahiekköjen (18 kpl) kriittinen putoamiskorkeus verrattuna raekokosuhteisiin



KUVA 6. Keskirakoon (d₅₀) mukaan eri luokkiin luokiteltujen märkien turvahiekköjen kriittiset putoamiskorkeudet keskirakoon ja raekokosuhteen (d₆₀/d₁₀) välisen suhdeluvun funktiona

POHDINTA

Tutkimuksen perusteella on saatu tarkentavaa lisätietoa kiviainesten rakeisuuden vaikutuksesta turvahiekan iskunvaimennusominaisuuksiin. Hyvän iskunvaimennuksen omaavan materiaalin edellytetään olevan hyvin tasarakeista (pieni raekokosuhte).

Tulokset osoittavat, että testattaessa turvahiekkjoja suhteellisen kuivana (vesipitoisuus = 0,1...1,0 %), keskiraekoilla ja raekokosuhteella ei ollut merkittävää vaikutusta kriittiseen putoamiskorkeuteen. Toisin sanoen tutkittujen hiekka- ja soramateriaalien testaustulos 0,2 m kerrospaksuudella oli samaa suuruusluokkaa. Materiaalien ollessa testattaessa kosteita raekokojakautumalla (keskiraekoko, raekokosuhte) oli sen sijaan merkittävä vaikutus kriittiseen putoamiskorkeuteen. Märillä keskiahiekoilla kriittinen putoamiskorkeus oli 0,1...1,0 m pienempi kuin kuivilla keskiahiekoilla. Märillä karkeahiekoilla kyseinen ero oli 0,3...0,6 m. Hienosoralla märkänä testattu tulos oli vain 0,2...0,3 m pienempi kuin kuivalla hienosoralla.

Tässä tutkimuksessa mitattujen turvahiekkjojen kriittiset putoamiskorkeudet vastaavat CPSC:n (1991) esittämiä mittaustuloksia (taulukko 2). Hienosoralla märkänä mitatut kriittiset putoamiskorkeudet vaihtelivat välillä 1,3...1,6 m (5 kpl), yhdellä kriittiseksi putoamiskorkeudeksi mitattiin 1,9 m (silmämääräisesti pyöreä raemuoto) ja yhdellä 2,2 m (raekokosuhte = 1,7). CPSC:n mittaustuloksissa ei ole esitetty tarkemmin sorien/hiekkjojen rakeisuutta eikä vesipitoisuutta.

Kuivan turvahiekan testauksessa havaittiin vastaavanlainen materiaalin käyttäytyminen mittapään iskun vaikutuksesta kuin Mack ym. (2000) tutkimuksissaan; kolmannen pudotuksen mittaustulos (max-

g ja HIC) oli usein arvoltaan pienempi kuin toisen mittauksen tulos. Tämä selittyi sillä, että materiaalia valui takaisin kuoppaan ennen kolmatta pudotusta.

Raemuoto on yksi tärkeimmistä materiaalin osatekijöistä yhdessä rakeisuuskäyrän kanssa. Raemuodon merkitys kasvaa murskatuissa materiaaleissa, sillä niiden muoto on yleensä särmikäs. Luonnonmateriaalit ovat yleensä pyörityneitä. Sileäpintaista, pyörityneet kapean raekokojakautuman omaavat rakeet eivät asetu paikalleen ja niistä valmistetuilla putoamisalustamateriaaleilla saavutetaan todennäköisesti hyvä iskunvaimennusominaisuus. Sand Flow Cone-testissä nopeimmin valuneen hiekan nro 10 iskunvaimennus oli testatuista hiekoista toiseksi paras, joten raemuodolla saattaa olla vaikutusta hiekkjojen iskunvaimennukseen. Tämän tutkimuksen materiaalien rakeiden muodossa oli valumisajkojen perusteella jonkin verran eroja, mutta raemuodon vaikutus turvahiekan iskunvaimennusominaisuuksiin vaatisi vielä lisätutkimuksia.

Kiviaineksen hienoaineksen määrä vaikuttaa materiaalin tiivistymistäipumukseen tasarakeisellakin materiaalilla. Hienoaineksen määrän vaikutus iskunvaimennusominaisuuksiin kiviaineksen eri raekokojakautumilla olisi myös tarpeellista tutkia, koska turvahiekkoina voidaan käyttää myös pesemättömiä luonnon kiviaineksiä.

Putoamisalustan iskunvaimennuksen kannalta ”turvallisimpia” ovat raekoon 4...8 mm sorat ja vähemmän ”turvallisia” raekoon 0...2 mm hiekat. Kiviaineksissa rakennetta sitovan hienoaineksen määrä vaikuttaa materiaalin iskunvaimennukseen; hienoainesmäärän lisääntyessä iskunvaimennus heikkenee.

TAULUKKO 2. Kriittiset putoamiskorkeudet

Kerrospaksuus [cm]	Lähde	Sora (Gravel)				Hiekka (Sand)						
		Hienosora märkä		kuiva	Keskisora märkä	Keskiahiekka märkä		kuiva	Karkeahiekka märkä	kuiva		
23 20	CPSC ¹⁾ Tämä tutkimus	2,1			2,2	1,5			1,4-1,7	1,5-2,4	1,4-1,8	1,5-2,4

¹⁾ CPSC = The United States Consumer Product Safety Commission

KIITOKSET

Haluan kiittää Miikka Laaksosta avusta tutkimustyössä.

LÄHTEET

- American Society for Testing and Materials.** 1991. Standard specification for impact attenuation of surface systems under and around playground equipment, F1292-91. Philadelphia, PA: ASTM.
- Consumer Product Safety Commission (CPSC).** 1991. Handbook for public playground safety. Washington, DC: US Government Printing Office.
- Eager, D. B. & Chapman, C. M.** 2004. Playground surfaces Standard – A discussion paper. Third Kidsafe National Playground Conference, Sydney, Australia. http://www.eng.uts.edu.au/courses/short/Kidsafe_2004Mar_Eager_Chapman_Playground_surfacing_standards_A_discussion_paper.pdf. Tarkistettu 30.3.2010.
- Korhonen, K-H. & Gardemeister, R.** 1975. Maalajien kaivuluokit. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 1. Otaniemi. Uudistettu lisäpainos. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Kuluttajavirasto.** Tiedote 14.7.2003.
- Laforest, S., Robitaille, Y., Lesage, D. & Dorval, D.** 2001. Surface characteristics, equipment height, and the occurrence and severity of playground injuries. Injury Prevention 2001; 7:35–40.

- Mack, M. G., Sacks, J. J. & Thompson, D.** 2000. Testing the impact attenuation of loose-fill playground surfaces. Injury Prevention 2000; 6:141–144.
- SFS-EN 1176-1.** 2008. Leikkikenttävälineet ja turva-alustat. Osa 1: Yleiset turvallisuusvaatimukset ja testimenetelmät.
- SFS-EN 1177.** 2008. Leikkikenttien iskua vaimentavat alustat. Kriittisen putoamiskorkeuden määrittämenetelmä.
- Standards Association of New Zealand.** 1986. Methods of test for water and aggregate for concrete. NZS 3111. Wellington.
- Standards Australia/New Zealand.** 1996. AS/NZS 4422 Playground surfacing specifications, requirements, and test methods. Homebush, NSW, Australia/Wellington, NZ: Standards Australia/New Zealand.
- Uusinoka, R.** 1984. Yleinen maaperägeologia, 2. osa: sedimentit ja sedimentaatioprosessit. Helsingin yliopiston Geologian laitoksen moniste, 2. painos.