



Renkaiden uusiokäyttö infra- rakentamisessa

Taneli Virtanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

VIRTANEN, TANELI:
Renkaiden uusiokäyttö infrarakentamisessa

Opinnäytetyö 39 sivua
Toukokuu 2023

Tässä työssä tarkastellaan renkaiden uusiokäyttöä infrarakentamisen eri rakenteissa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii GRK Suomi Oy. Opinnäytetyö laadittiin, koska uusiorenkaiden käytöstä oli vähän saatavilla suomenkielistä teoriatietoa. Lisäksi opinnäytetyössä on tehty kustannuslaskentaa renkailla rakentamisesta. Tämä on kuitenkin luottamuksellista tietoa, ja se on poistettu julkaistavasta versiosta.

Vuonna 2018 voimaan tullut MARA-asetus on helpottanut jätteeksi luokiteltujen kierrätysrenkaiden hyötykäyttöä rakentamisessa. Suomessa kerätään vuosittain noin 65 000 tonnia kierrätysrenkaita, mikä vastaa noin 8,1 miljoonaa auton rengasta. Renkaita on hyödynnetty monipuolisesti infrarakenteissa jo vuosikymmeniä muun muassa Yhdysvalloissa. Suomessa käyttö on keskittynyt lähinnä valli- ja kevennysrakenteisiin.

Opinnäytetyössä käsitellään läpi renkaiden valmistusprosessi sekä kierrätysrenkaista valmistettavia tuotteita. Työssä käsitellään lisäksi myös kierrätysrenkaiden keskeisiä materiaaliominaisuuksia ja sitä, kuinka kierrätysrenkas poikkeaa tavanomaisista maa-aineksista. Renkaiden käyttökohteissa perehdytään yleisesti käytettyihin kohteisiin sekä vielä Suomessa tuntemattomiin kohteisiin. Opinnäytetyöhön on kerätty tietoa muun muassa InfraRYL-palvelusta, Väyläviraston ohjelutlostosta, ulkomaisista tutkimuksista sekä laista ja asetuksista.

Rengasmateriaali soveltuu ominaisuuksiensa puolesta infrarakentamiseen hyvin, ja sillä voidaan korvata neitseellisiä maa-aineksia sekä vähentää bitumin määrää asfaltissa. Rengasmateriaali on täysin uudelleenkäytettävissä eikä se hajoa luontoon. Vuonna 2006 tehdystä yhdysvaltalais tutkimuksesta ilmenee, että renkaiden käyttö on turvallista myös pohjavedenpinnan alapuolella.

Tulevaisuudessa uusiomateriaalien käyttö tulee lisääntymään infrarakentamisessa merkittävästi. Suurten tilaajaorganisaatioiden kuten Väyläviraston ja kaupunkien vastuu on lisätä uusiomateriaalien käyttöä hankkeissaan. Suunnittelussa tulee myös ennakkoluulottomasti valita uusia rakennusmateriaaleja sekä perehtyä ulkomaisiin tutkimuksiin. Uusiomateriaalien valinnasta tulee tehdä kustannustehokasta sekä houkuttelevaa myös urakoitsijoille.

Asiasanat: uusiomateriaali, rengasleike, rmb-asfaltti

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

VIRTANEN, TANELI:
Tire Reuse in Civil Engineering

Bachelor's thesis 39 pages
May 2023

Purpose of this study was to examine tire reuse in civil engineering applications. The thesis was assigned by GRK Suomi Oy. This thesis was written because few Finnish studies have been carried out on the use of recycled tires. In addition, cost accounting was carried out for construction. However, confidential information has been deleted from the published version.

Around 65 000 tonnes of recyclable tires are collected annually in Finland, which corresponds to approximately 8.1 million car tires. Thesis examined the production process of tires. The thesis also examines key material properties of recycled tires and how it differed from conventional soils.

The results of the study suggest that the tire material is suitable for civil engineering, it can preserve natural resources and reduce the use of bitumen in asphalt. Tire material is also fully reusable and does not break down into the environment. A study in the United States shows that it is safe to use recycled tires below ground water.

In the future, the use of recycled materials will increase significantly in civil engineering. New structural materials must be selected without prejudice. Recycled materials must be also cost-effective and attractive to contractors.

Key words: recycled material, tire derived aggregate, rmb-asphalt

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Toimeksiantaja	7
1.2	Tavoitteet	7
1.3	Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät.....	8
2	RENGASTUOTANTO	9
2.1	Renkaiden pääraaka-aineet ja valmistus.....	9
2.2	Renkaiden kierrätys	10
2.3	MARA-asetus	11
2.4	Käytöstä poistetuista renkaista valmistetut tuotteet.....	12
2.4.1	Kokonaiset renkaat RL0	12
2.4.2	Rengasleike RL1, RL2 ja RL3	13
2.4.3	Granulaatti.....	14
3	MATERIAALIOMINAISUUDET	16
3.1	Lujuusominaisuudet	16
3.2	Tiheys.....	17
3.3	Tilavuuspaino	17
3.4	Huokoisuus	18
3.5	Muodonmuutos ja kokoonpuristuvuus.....	18
3.6	Hydrauliset ominaisuudet.....	19
3.7	Lämpötekniset ominaisuudet.....	19
4	RENKAIDEN KÄYTTÖKOHTEET	20
4.1	Kevennysmateriaali	20
4.2	Hulevesien hallinta	21
4.3	Routa- ja lämpöeriste	22
4.4	Tärinäeriste	22
4.5	Vallirakenteet	23
4.6	Kulutuserrokset	24
4.6.1	RMB-asfaltti	25
4.6.2	Urheilukentät	26
4.7	Räjätysmatot	26
4.8	Tukiseinät ja -muurit.....	27
4.9	Törmäysetteet	28
5	YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	29
5.1	Rengasleikkeen vaikutus pohjaveden laatuun	29
5.2	Veden puhdistus	29
6	KUSTANNUSLASKENTA.....	33

7 POHDINTA	34
7.1 Yhteenveto.....	34
7.2 Jatkotutkimusehdotus	34
LÄHTEET.....	36

LYHENTEET JA TERMIT

E-moduuli	Kimmomoduuli, kuvaa rakennettavan aineen pituuden muutosta venytettäessä tai kokoonpuristuvuutta puristettaessa
InfraRYL	Infrarakentamisen rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus 843/2017 eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa
Proctor-koe	Laboratoriokoe, jossa saadaan selville rakennusaineen maksimitilavuuspaino sekä optimivesipitoisuus
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry
RMB	Rubber Modified Bitumen, kierrätysrengasmodifioitu kumibitumi
SGY	Suomen geoteknillinen yhdistys
SVOC	Semi-volatile organic compound, puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet
TDA	Tire Derived Aggregate, rengasleike
VOC	Volatile organic compound, haihtuvat orgaaniset yhdisteet

1 JOHDANTO

1.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii GRK Suomi Oy. Osa opinnäytetyöstä sisältää luottamuksellista tietoa ja se on poistettu julkaistavasta versiosta.

GRK on Tuusulassa vuonna 1983 perustettu yritys, jonka toiminta keskittyi alkuvuosina kiinteistökauppoihin sekä rakennuttamiseen. Vuonna 2007 GRK laajensi toimintaansa infrarakentamiseen, josta vähitellen tuli yrityksen päätoimiala. Sittemmin GRK:n toiminta on laajentunut vuosina 2012-2013 Ruotsiin sekä Viroon. (GRK Suomi 2023.)

GRK toimii taito- ja väylärakentamisen, päällystykseen, raiderakentamisen sekä ympäristörakentamisen osa-alueilla. GRK toimii Suomessa, Ruotsissa sekä Virossa. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2021 yli 430 miljoonaa euroa. GRK työllistää noin 1000 ammattilaista. (GRK Suomi 2023.)

1.2 Tavoitteet

Tämän opinnäytteen tavoitteena on tuottaa renkaiden uusiokäytöstä kokonaisvaltainen selvitys sekä tutkia rengasmateriaalin käyttöä eri infrarakentamisen kohteissa. Lisäksi tavoitteena on tehdä kustannuslaskentaa rengasmateriaalilla rakennettaessa.

Yhdysvalloissa sekä Ruotsissa on tutkittu paljon rengasmateriaalin ominaisuuksia sekä käyttökohteita jo 1980-luvulta saakka, Suomessa ohjekortteja sekä tutkittua tietoa on niukasti aiheesta saatavilla. Infrarakentaminen toimii eri materiaalien uusiokäytön eturintamassa ja potentiaalia renkaiden uusiokäytön lisäämiseksi Suomessa on havaittavissa raiderakentamisen sekä päällystykseen osalta.

1.3 Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät

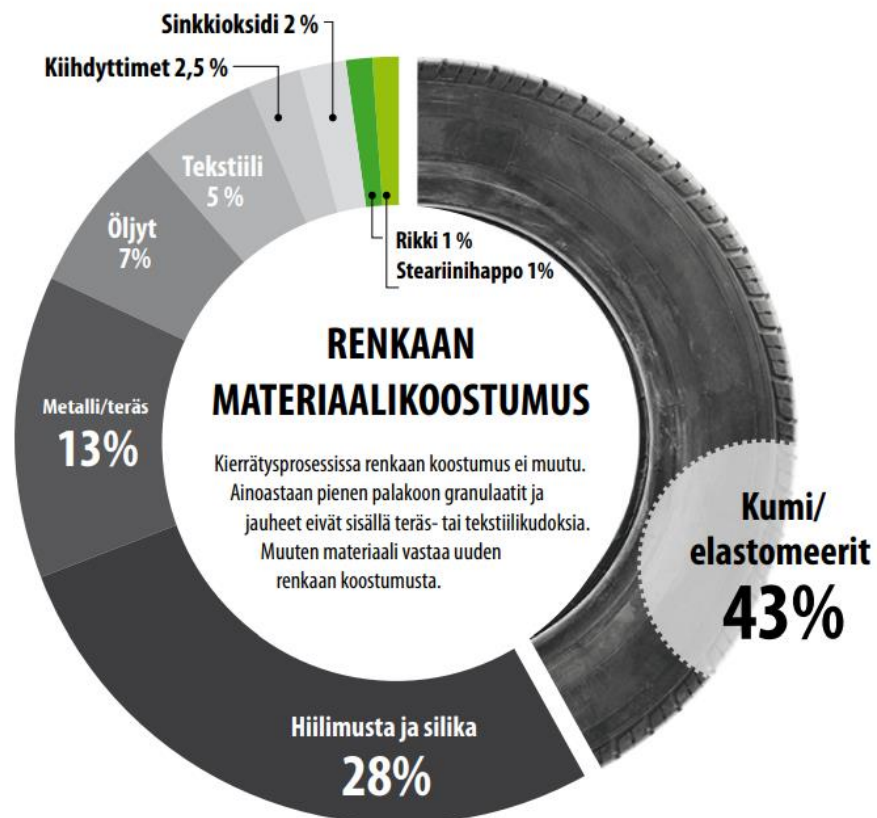
Työssä keskitytään luomaan selvitys yleisistä kierrätysrengasmateriaalin käyttökohteista sekä tuomaan ilmi Suomessa vielä heikosti tunnettuja käyttökohteita.

Opinnäytetyössä on hankittu tietoa useista eri lähteistä. Tietoa on hankittu muun muassa verkkojulkaisuista, tutkimusartikkeleista, laista ja asetuksista, Väyläviraston ohjeluettelosta sekä InfraRYL-palvelusta. Osa tiedoista perustuu teorian lisäksi työmaalta kerättyyn tietoon.

2 RENGASTUOTANTO

2.1 Renkaiden pääraaka-aineet ja valmistus

Renkaiden pääraaka-aineet koostuvat luonnonkumista, synteettisestä kumista, noesta ja öljystä. Kuvioista 1 nähdään henkilöauton renkaan materiaalikoostumus. Renkaissa käytettävästä kumista noin puolet on luonnonkumia, jota saadaan kumipuusta. Kumipuut kasvavat trooppisilla alueilla Malesiassa sekä Indonesiassa. Öljypohjainen ja synteettisesti valmistettu kumi tuotetaan Euroopassa. Tärkein renkaassa käytetty täyteaine on noki, joka antaa renkaalle sen mustan värin. Musta väri absorboi eli imee itseensä UV-säteilyä ja pidentää kumiseoksen elinikää. Noki lisää renkaan kulutuskestävyyttä ja pitoa, öljyn tehtävä kumiseoksessa on pitää se notkeana. Kumisekoituksessa tarvitaan myös kovettumis- eli vulkanointiaineita sekä apukemikaaleja ja suoja-aineita. (Nokian renkaat Oyj 2022.)



KUVIO 1. Henkilöauton renkaan materiaalikoostumus. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Renkaan raaka-aineet kuumennetaan noin 120 asteen lämpötilaan sekoitusvaiheessa. Sekoitus käytetään kaapelin, tekstiilin ja teräsvöiden kumittamiseen. Valmis rengas koostuu noin 10–30 komponentista, jotka toimivat renkaan vahvikeosina. Renkaiden komponentit kootaan aihioiksi kokoonpanokoneilla. Aihiot vulkanoidaan eli kovetetaan paistopuristimissa. Puristimen sisässä olevaan paistotyynyyn ohjataan korkea höyrynpaine, joka painaa aihion muotissa olevaa pintakuviota sekä sivutekstejä vasten. Rengas vastaa valmista rengasta paistopuristimesta tultuaan. (Nokian Renkaat Oyj 2022.)

2.2 Renkaiden kierrätys

Renkaiden uusiokäyttö infrarakentamisessa on kasvanut vakaasti 90-luvulta saakka. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä astui voimaan 1.1.2018. Niin kutsuttu MARA-asetus on helpottanut uusiokäyttöä entisestään ja vuonna 2019 käytöstä poistetuista renkaista hyödynnetään infraraken-teissa jo yli 70 %. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Vuonna 2021 Suomessa kerättiin 65 000 tonnia renkaita, mikä vastaa noin 8,1 miljoonaa auton rengasta. Käytännössä kaikki markkinoille lasketut renkaat päätyvät keräykseen. Suomessa renkaiden keräyksen ja hyötykäytön järjestää tuottajayhteisö Suomen Rengaskierrätys Oy. (Pirkanmaan ELY 2022.)

Suomen Rengaskierrätys Oy on rengaskauppioiden, valmistajien sekä maahan-tuojien perustaman yritys. Vuonna 1995 toimintansa aloittanut yritys huolehtii jokaisen Suomessa myydyn renkaan päätymisestä uusiokäyttöön. Vuodesta 1997 yritys on toiminut lain säätämänä tuottajayhteisönä, jonka kautta sen jäsenet voivat järjestää tuotteiden keräyksen ja kierrätyksen. Suomen Rengaskierrätys Oy:llä on noin 3450 keräyspistettä, jotka kattavat koko maan. Korkea keräyspisteverkosto mahdollistaa korkeat hyödyntämis- ja keräysmäärät. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2022.)

Valtioneuvoston asetus (527/2013 § 2) edellyttää, että vähintään 95 % markkinoille saatetuista renkaista valmistellaan uudelleenkäyttöön, kierrätetään tai muutoin hyödynnetään. Vuonna 2021 kierrätysaste oli 127 %. Yli sadan prosentin kierrätysaste johtuu tuottajaverkostosta, joka kerää ja hyödyntää enemmän renkaita kuin sen jäsenet laskevat markkinoille. (Pirkanmaan ELY 2022.)

2.3 MARA-asetus

MARA-ilmoitusmenettelyllä voidaan mahdollistaa jätteeksi luokiteltujen rengasleikkeen sekä kokonaisten renkaiden hyötykäyttö. Valtioneuvoston asetus (843/2017) määrittää vaatimukset, jotka täyttämällä rengasleikettä ja kokonaisia renkaita voidaan hyödyntää väylä-, kenttä- sekä vallirakenteissa. Muutoin hyödyntäminen tapahtuu ympäristöluvalla. (Väylävirasto 2022.)

Kevennyksiä suunniteltaessa tulee huomioida, ettei MARA-asetusta sovelleta tulevavaara-alueilla sekä 1- ja 2-luokan pohjavesialueilla. (Väylävirasto 2022.)

Vallirakenteita rakennettaessa tulee ottaa huomioon renkaiden kerrospaksuus. Rengasmateriaalin tiivistyminen tulee ottaa huomioon ennakkokorotuksena rakentamisen yhteydessä. MARA-asetuksen 843/2017 Liite 2 Taulukko 1. rajoittaa renkaiden kerrospaksuuden rakenteessa 5,0 metriin. (Finlex 843/2017.)

MARA-asetuksen 843/2017 soveltamisohjeessa määritetään vallin mitat:

”Asetuksen raja-arvojen määrittämisperusteiden vuoksi vallina pidetään vain sellaista kokonaisuudessaan maanpinnan yläpuolella sijaitsevaa vallirakennetta, jonka harjan leveys on enintään 5 m, ja johon sisältyvät harjan molemmilla puolilla vähintään 1:2 kaltevuudessa olevat luiskat. Mikäli rakennettavan vallin harja on leveämpi kuin edellä esitetty 5 m, on sitä pidettävä väylänä tai kenttänä sen leveydestä riippuen.”(Ympäristöministeriö 2019, 6.)

Kierrätysrengasmateriaalia voidaan hyödyntää MARA-asetuksen mukaisesti teollisuus- ja varastorakenteiden pohjarakenteissa sekä väylä- ja kenttärakenteissa. Suurin yhteenlaskettu kerrospaksuus edellä mainituissa rakenteissa on kuitenkin 1,5 m. Suurempien kerrospaksuuksien käyttö edellyttää ympäristöluvan hakemista. (Väylävirasto 2022.)

2.4 Käytöstä poistetuista renkaista valmistetut tuotteet

Renkaista voidaan valmistaa monipuolisesti erilaisia tuotteita kuten leikettä, jauhetta sekä granulaattia. Renkaista valmistettavaa jauhetta ja granulaattia hyödynnetään teollisuudessa enenevässä määrin. Teollisuudessa jauhetta hyödynnetään esimerkiksi maaleissa, pinnoitteissa sekä urheiluvälineissä. Hyötykäyttöä tutkitaan ja uusia innovaatioita ilmenee jatkuvasti. Tuotteistaminen on suuressa osassa, koska yritys voi saavuttaa merkittävää kilpailuetua muihin nähden uusilla tuotteilla. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2022.)

2.4.1 Kokonaiset renkaat RL0

Renkaiden tuottajavastuun alle kuuluvat kaikki maalla kulkemaan tarkoitettujen ajoneuvojen renkaat. Edellä mainituiksi luokitellaan lisäksi hinattavien ajoneuvojen, työkoneiden tai laitteiden renkaat. Kierrätykseen päätyvien renkaiden koot ja painot vaihtelevat keskenään hyvin paljon. Ylivoimaisesti eniten kerätään kuitenkin henkilöauton renkaita, joiden keskipaino on 10 kg. Kokonaisista renkaista voidaan valmistaa myös rengaspaaleja yksittäisiä renkaita yhteen niputtamalla. (Väylävirasto 2022.)

Tyypillisiä kokonaisten renkaiden kohteita ovat maavallit, joita voidaan hyödyntää meluntorjunnassa. Kokonaisten renkaiden käytön eduksi voidaan katsoa edullinen rakennuskustannus. Kokonaisilla renkailla rakennetussa vallissa renkaat itsessään kannattelevat rakennetta eivätkä tarvitse tukirakenteita.

Renkailla rakennetun vallin päälle tehtäviin täyttöihin voidaan käyttää ylijäämämassoja sekä heikosti kantavia maa-aineksia, jotka eivät kelpaa yleiseen maarakentamiseen. Kokonaisten renkaiden eduksi voidaan myös katsoa niiden uudelleenkäytettävyys. Mikäli rakenne puretaan, voidaan talteen otettu rengasmateriaali hyödyntää uudelleen ilman sen ominaisuuksien heikkenemistä. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

2.4.2 Rengasleike RL1, RL2 ja RL3

Rengasleikettä voidaan valmistaa 50–300 mm² palakoossa käyttökohteen mukaan. Palakolla tarkoitetaan leikkeen maksimikokoa, joka vaihtelee nimellisarvosta leikkaavasta laitteistosta tai renkaan asennosta. Edellä mainitut tekijät vaikuttavat leikkeen muotoon sekä sen koon vaihteluun. Palakoko vaikuttaa leikkeen tiivistyvyyteen sekä huokoisuuteen. (Aurinko 2012.)

Rengasleike jaetaan kolmeen luokkaan: RL1, RL2 sekä RL3. Numero vastaa leikkuukertojen määrää. Taulukosta 1 nähdään eri leikkeluokkien palakoko. Luokat eivät kuvaa maarakentamiskelpoisuutta, mutta ne määrittävät mihin leikettä voidaan hyödyntää. (Väylävirasto 2022.)

TAULUKKO 1. Kierrätysrengasmateriaalin palakoon nimellimitat. (InfraRYL 181144:T1 2022/2)

Leikeluokka	Valmistustapaa	Palakoko, mm (leveys x pituus)
RL0	Kokonaiset renkaat	voi vaihdella
RL1	1 kerran leikattu	noin 300 x noin 300
RL2	2 kertaa leikattu	100...200 x 100...200
RL3	3 kertaa leikattu	50...100 x 50...100

Rengasleikettä voidaan hyödyntää maarakentamisessa laajemmin kuin kokonaisia renkaita. Haittapuoliksi voidaan kuitenkin laskea korkeammat käyttökustannukset. Renkaan leikkaus lisää kustannuksia verrattuna kokonaisten renkaiden hyödyntämiseen. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Logistisesti leike on kuitenkin kustannustehokkaampi materiaali suuremman tilavuuspainonsa ansiosta. Rengasleike RL1 kasvattaa tyypillisen kuorma-auton kuljetuskapasiteettia 30 % verrattuna kokonaisten renkaiden kuljettamiseen. RL3 leike kasvattaa kapasiteettia 50 % verrattuna kokonaisiin renkaisiin. (Hylands & Shulman 2003, 16)

Rengasleike RL1 (KUVA 1) soveltuu väylä- ja kenttärakenteisiin pienemmän kokoonpuristuvuutensa ansiosta. RL1 rengasleikettä voidaan hyödyntää kenttärakenteissa keventeenä. Se ehkäisee heikosti kantavilla mailla painumista. Leike toimii huokoisena materiaalina myös vesivarastona hulevesitunnelin tai -kasetin tavoin kuten kokonainen rengas (RL0). (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 1. Rengasleike RL3 (vasemmalla) ja RL1 (oikealla). (Cheng D. 2016.)

RL2 ja RL3 leikkeen käyttö on kustannusteknisistä syistä järkevää ainoastaan kohteissa, joihin suurempaa leikettä ei ole mahdollista käyttää. Kyseisiä rakenteita ovat esimerkiksi kohteet, joissa tarvitaan suurempaa rakenteen tiiviyyttä sekä pienempää huokoisuutta. Kohteet missä päällystäytön paksuus ei voi olla suuri on perusteltua käyttää pienempää leikettä. RL2 sekä RL3 leike joudutaan leikkaamaan useampaan kertaan, mikä tekee niistä kalliimpia verrattuna RL1 leikkeeseen. RL2 ja RL3 leikkeen ominaisuudet poikkeavat RL1 leikkeestä lähinnä tiiviiden, huokoisuuden sekä kuutiopainon osalta. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

2.4.3 Granulaatti

Rengasleikkeestä voidaan jatkojalostaa granulaattia. Granulaatti on raekooltaan 0,5–25 mm ja sitä voidaan verrata kiviaineksen raekokoon. Granulaatista on poistettu leikkausprosessin myötä renkaassa olevat teräsvahvisteet sekä kuitukankaat. Tyypillisimmin Suomessa käytetään 2, 4, 8, 14 sekä 25 mm granulaattia. (Aurinko 2012.)

Kuvassa 2 on urheilukentillä tyypillisesti käytettävää granulaattia. Granulaatin yleisin käyttökohde on keinokuituisten jalkapallokenttien jousto- ja pintarakenne. Yksittäisen jalkapallokentän rakenteisiin käytetään noin 100 tonnia granulaattia. Granulaattia voidaan hyödyntää myös RMB-asfaltin sekä kumisten turva-alustojen raaka-aineena. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 2. Kierrätysrenkaista valmistettua granulaattia. (Pyrum Innovations AG. 2023.)

Granulaatista on valmistettu myös asfalttikerrosten väliin asennettavia vahvisteverkkoja. Vahvisteverkko on valmistettu kumiemulsiosta sekä polymeereistä. Vahvisteverkon tehtävä on lisätä kahden asfalttikerroksen välistä tartuntaa sekä estää asfaltin halkeilua. (Aurinko 2012.)

3 MATERIAALIOMINAISUUDET

3.1 Lujuusominaisuudet

Rengasleikkeen kitkakulma on 20–40 astetta ja koheesiolle käytetään arvoa 0 kN/m². Kitkakulman arvo valitaan vaihteluvälin alarajalta, mikäli halutaan suunnittelussa suurempaa varmuutta. Taulukossa 2 on esitetty rengasmateriaalin ominaisuuksia. (Repo 1997.)

TAULUKKO 2. Rengasleikkeen suuntaa antavia ominaisuuksia. (InfraRYL 181144:T2 2022/2)

	RL0	RL1	RL2	RL3
Kuivatiheys	1,1...1,8 t/m ³	2,5...4,0 t/m ³	3,5...4,5 t/m ³	3,8...5,0 t/m ³
Tilavuuspaino γ ¹⁾	2...4 kN/m ³	4...5,5 kN/m ³	4,7...6,0 kN/m ³	5,5...6,5 kN/m ³
Koheesio c	—	—	—	8...9 kN/m ²
Kitkakulma φ	—	—	—	~ 20...40°
Lämmönjohtavuus λ	—	~ 0,15...0,3 W/mK	~ 0,15...0,3 W/mK	~ 0,15...0,3 W/mK
Muodonmuutosmoduuli E ²⁾	—	0,5...2,0 MPa	0,5...2,0 MPa	1...2,0 MPa
¹⁾ kun materiaali on tiivistetty ja siihen kohdistuu 10...40 kPa:n kuorma ²⁾ riippuu kerroksen sijainnista rakenteessa				

Lujuusominaisuudet ovat täysin verrattavissa luonnonmateriaaleihin. Taulukossa 3 verrataan lujuusominaisuuksia Suomessa maarakentamisessa käytettäviin luonnonmateriaaleihin. Mikäli rakenne voidaan luiskata 1:3 tai loivempaan lujuusominaisuudet yleensä eivät vaikeuta stabiliteetti- tai kantavuuslaskentaa. (Aurinko 2012.)

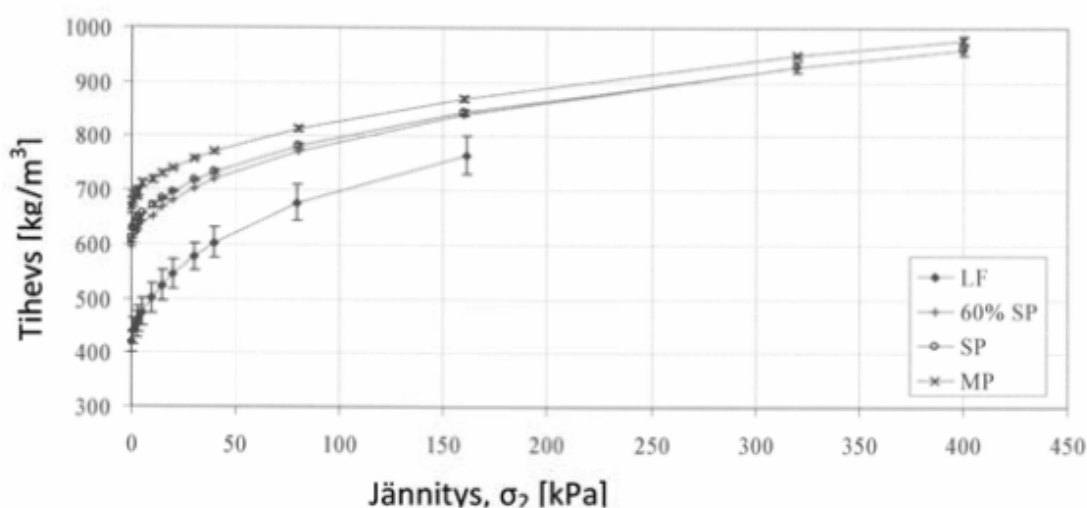
TAULUKKO 3. Rengasleikkeen lujuusominaisuudet luonnonmateriaaleihin verrattuna. (Aurinko, H. 2012.)

Materiaali	Rengasrouhe	Savi	Hiekka	Sora
Koheesio [kN/m ²]	8...10	2...20*	-	-
Kitkakulma [°]	20...40	15...25	30...38	34...40

Huom. * Saven leikkauslujuusparametreina on käytetty tehokkaita leikkauslujuusarvoja.

3.2 Tiheys

Rengasleikkeen tiheyttä on tutkittu löyhästi tiivistetyllä sekä tiivistetyllä leikkeellä. Ruotsalaisessa tutkimuksessa tutkittiin leikkeen tiiviyttä 60 % tiiviytsasteella, standardi Proctor kokeella sekä parannetulla Proctor kokeella. Tutkimuksissa rengasleikkeen palakoko oli 300x300 mm² (RL1) ja 50x75 mm² (RL3). Kuvasta 3 nähdään tiiviytsasteen kasvavan nopeasti kaikilla tiiviytsasteilla. Kuormituksen ollessa 160 kPa tiheys on noin 980–990 kg/m³. RL3 leikkeen tiheys on noin 10 kg/m³ suurempi verrattuna RL1 sekä RL2 leikkeeseen. (Aurinko 2012.)



KUVA 3. Pystyjännityksen vaikutus tiheyteen eri tiiviytsasteilla. Löyhästi tiivistetty (LF), Standard Proctor- tiivistys (SP) sekä modifioitu Proctor- tiivistys (MP). (Edeskär, T. 2006.)

3.3 Tilavuuspaino

Rengasmateriaalin tilavuuspainoon vaikuttaa renkaiden koko, tiiviytsaste, leikkeen palakoko sekä kuormitus. Renkaiden sekä leikkeen tilavuuspaino on alhainen, jolloin ne soveltuvat hyvin kevennysrakenteen materiaaliksi. Rengasmateriaali ei ime itseensä vettä juuri lainkaan, joten sitä ei tarvitse huomioida tilavuuspainoa määritettäessä. Vettä raskaampana materiaalina se ei myöskään kellu. InfraRYL:n kokonaisten renkaiden ja rengasleikkeen tilavuuspaino vaihtelee RL0 2-

5,5 kN/m³ välillä aina RL3 5,5-6 kN/m³. Päällä oleva kuormitus vaikuttaa oleellisesti tilavuuspainoon, InfraRYL:n laskelmat on suoritettu 10–40 kPa kuormituksella. (Väylävirasto 2022.)

3.4 Huokoisuus

Rengasleikkeen huokoisuus vaihtelee rakenteen tiiviysasteen sekä palakoon mukaan. Tiivistetyllä leikkeellä huokoisuus vaihtelee 45–55 % välillä. Tiivistämättömällä leikkeellä huokoisuus vaihtelee 60–70 %. Kokonaisissa renkaissa on selkeästi suurempi huokoisuus verrattuna hyvin tiivistettyyn rengasleikkeeseen. (Aurinko 2012.)

3.5 Muodonmuutos ja kokoonpuristuvuus

Rengasmateriaalin muodonmuutosmoduuli on 0,5–2,0 MPa. Se kuitenkin kasvaa, kun rengasleikemateriaaliin kohdistettu kuormitus kasvaa. Koekohteissa on päästy 1–2 MPa E-moduuliin. Tiehallinnon koekohteessa Ilola-Sannainen on tutkittu painuman korjaamista rengasleikkeellä. Koekohteen tutkimuksissa E-moduulin arvoksi saatiin 2 MPa. Laskennan teoreettisena arvona käytettiin 1 MPa. (Liikennevirasto 2011.)

Kokonaisten renkaiden sekä rengasleikkeen kokoonpuristuvuus on kuormitettuna suurta. Kokonaiset renkaat kokoonpuristuvat yleensä enemmän kuin rengasleike. Leikkeen koko määrittää kokoonpuristuvuuden. Pienempi leike on tiiviimpää eikä kokoonpuristuvuus ole niin suurta. Rengasmateriaalikerrokset tiivistetään päälle ajettavilla maakerroksilla. Rengaskeventeessä käytettävän päällystytön suositeltu vähimmäispaksuus on 0,9–1,4 m (Väylävirasto 2022.)

Katurakenteessa oleva kunnallistekniikka estää rakenteen tehokkaan tiivistämisen, jolloin kokoonpuristuvuus on hyvin suurta. Hyvin tiivistetty leikekerros puristuu 10–20 % ja kokonaiset renkaat jopa 30–50 %, kun rakenteeseen kohdistetaan 10–40 kPa kuorma. (Rakennustieto 2022.)

3.6 Hydrauliset ominaisuudet

Rengasmateriaalilla on suuri hydraulinen johtavuus eli vedenläpäisevyys. Kuiva-
tuserroksessa käytettävään luonnonmateriaaliin verrattuna kokonaisten renkai-
den ja rengasleikkeen RL1 hydraulinen johtavuus on suurempi. Hydrauliseen joh-
tavuuteen vaikuttaa yleisesti materiaalin palakoko, kuormituksen aiheuttama jän-
nitystila sekä hydraulinen gradientti. Hydraulinen johtavuus pienenee materiaaliin
kohdistuvan kuormituksen sekä tiivysasteen kasvaessa. (Aurinko 2012)

3.7 Lämpötekniset ominaisuudet

Renkaiden lämmönjohtokyky on InfraRYL:n mukaan 0,15–0,3 W/mK ja se vastaa
suuruusluokaltaan kevytsoraa. Renkaiden lämmönjohtokykyyn vaikuttaa oleelli-
sesti materiaalin palakoko sekä huokoisuus. Taulukosta 4 nähdään rengasleik-
keen lämmönjohtavuuden olevan keskimäärin noin 30–50 % maa-aineksiä pie-
nempi. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

TAULUKKO 4. Rengasleikkeen lämmönjohtavuus tavanomaisiin maa-aineksiin
verrattuna. (Aurinko, H. 2012.)

Materiaali	Rengasrouhe*	Savi	Hiekka	Sora	Kevytsora
Lämmönjohtavuus λ [W/Km]	0.14...0.32	1.25...1.7	1.25...2.5	0.5...2.5	0.15

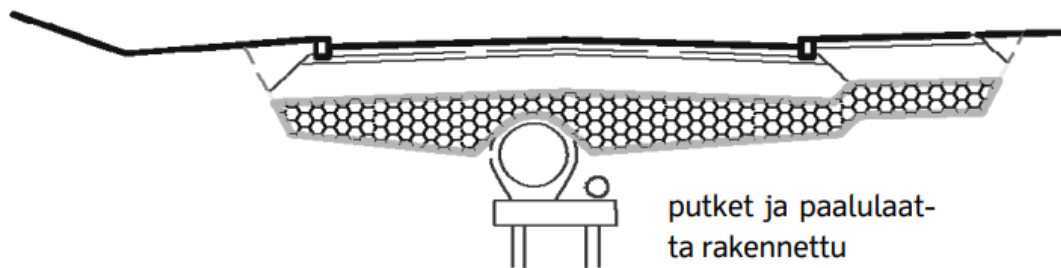
Huom. * Rengasrouheen lämmönjohtavuus on riippuvainen mm. palakoosta/raekoosta. (Kubo
1997; Humphrey & Eaton 1993; RIL Pohjarakennusohjeet1988).

Veden kyllästävässä rengasleikkeessä on keskimäärin 6 % suurempi lämmön-
johtavuus kuivaan leikkeeseen verrattuna. Jäätäneen leikkeen lämmönjohtavuus
on 10 % suurempi kuin sulan näytteen. Tutkimuksien perusteella jännitystilalla,
vesipitoisuudella sekä palakoolla on vain pieni vaikutus leikkeen lämmönjohta-
vuuteen. (Aurinko 2012.)

4 RENKAIDEN KÄYTTÖKOHTEET

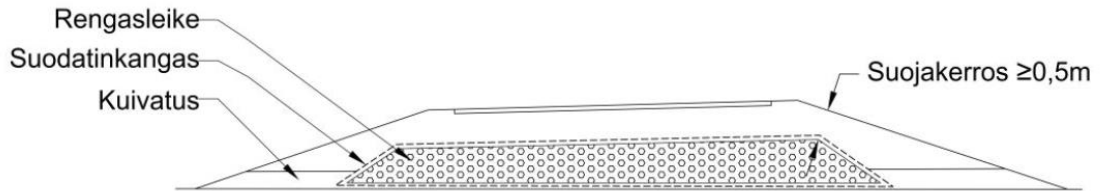
4.1 Kevennysmateriaali

Rengasmateriaali on fysikaalisilta ominaisuuksiltaan sopiva kevennysmateriaali, pehmeillä alueilla se myös parantaa maan kantavuutta. Renkaiden uusiokäytöllä keventeessä voidaan säästää neitseellisiä materiaaleja kuten mursketta, louhetta sekä hiekkaa. Rengasmateriaalille tyypillisesti soveltuvassa kohteessa maapohja on pehmeää sekä kantavuus on heikko. Renkaiden käyttö tuo rakenteeseen il-mavuutta sekä vedenläpäisykykyä. Lisäksi rengasmateriaali vakauttaa ja keven-tää rakennetta. Renkaita käytetään tyypillisesti maaleikkauksissa (KUVA 4), pen-kereissä, valleissa tai kenttärakenteissa keventeinä. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



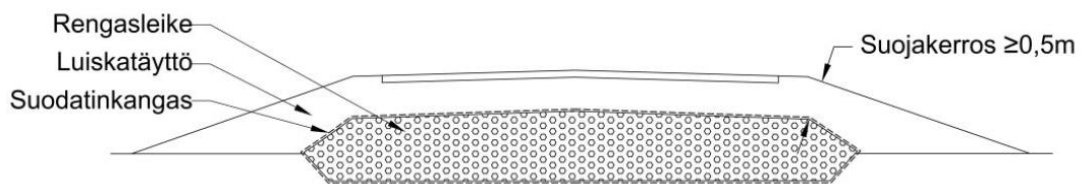
KUVA 4. Tyypik kuva rengaskevennyksestä maaleikkauksessa. (Liikennevirasto 5/2011 Kuva 13.)

Pengerrakenteissa renkaita käytetään jalankulun ja pyöräliikenteen väylillä, yksi-tyisteillä, siirtymärakenteissa, siltojen ja varasiltojen maatuissa. Siirtymäraken-teen suunnittelussa tulee ottaa huomioon maan, ympäristäytön, siirtymäraken-teen sekä sillan yhteistoiminta suunnitteluohjeiden mukaan. Pengerrakentee-seen voidaan rakentaa renkaista joko osittaiskevennys (KUVA 5) tai kokonaiske-vennys (KUVA 6). Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon työmaateiden hyödyntä-minen kevyen liikenteen väylinä hankkeen jälkeen. Tyypillisesti kevennysrakenne on paksuudeltaan 0,5–1,5 m, mutta huomattavasti paksumpienkin rakenteiden toteuttaminen on mahdollista. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 5. Penkereen osittaiskevennys (SGY rengaskevennysohje 2022.)

Pohjaveden korkeus ei ole rajoittava tekijä rengasmateriaalia käytettäessä. Vettä raskaampana materiaalina renkaita käytettäessä ei tarvitse huomioida veden nostetta, myöskään pohjavedenpinnan alapuolella. (Väylävirasto 2022.)



KUVA 6. Penkereen kokonaiskevennys eli nollakuormalisäys. (SGY Rengaskevennysohje 2022.)

4.2 Hulevesien hallinta

Sademäärien kasvaessa kaupunkien hulevesien hallintaan joudutaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Renkaita voidaan hyödyntää myös lisääntyvien hulevesien hallinnassa. Huokoisena materiaalina sitä voidaan käyttää pysäköintialueiden, torien tai kenttien salaojarakenteena. Salaojarakenteessa renkaat johtavat hyvin vettä eikä se kuitenkaan padota veden virtausta. Rakenteessa renkaat toimivat kaivo- ja ojatyypisesti sekä samalla saadaan materiaalin hyötyjä kevennysrakenteena ja lämmöneristeenä. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

4.3 Routa- ja lämpöeriste

Renkaiden ominaisuudet routa- ja lämmöneristeinä perustuvat rakenteen kuivana pysymiseen sekä suureen vedenläpäisevyyteen. Rakennetut kerrokset pysyvät kuivina eikä routimista pääse syntymään. Kevytsoran kanssa käytettäessä rengasmateriaali soveltuu routaeristeeksi myös kenttärakenteisiin sekä parkkipaikoille. Renkaiden käytössä lämmöneristeinä saavutetaan myös muita sen hyviä ominaisuuksia kuten sen keveys. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

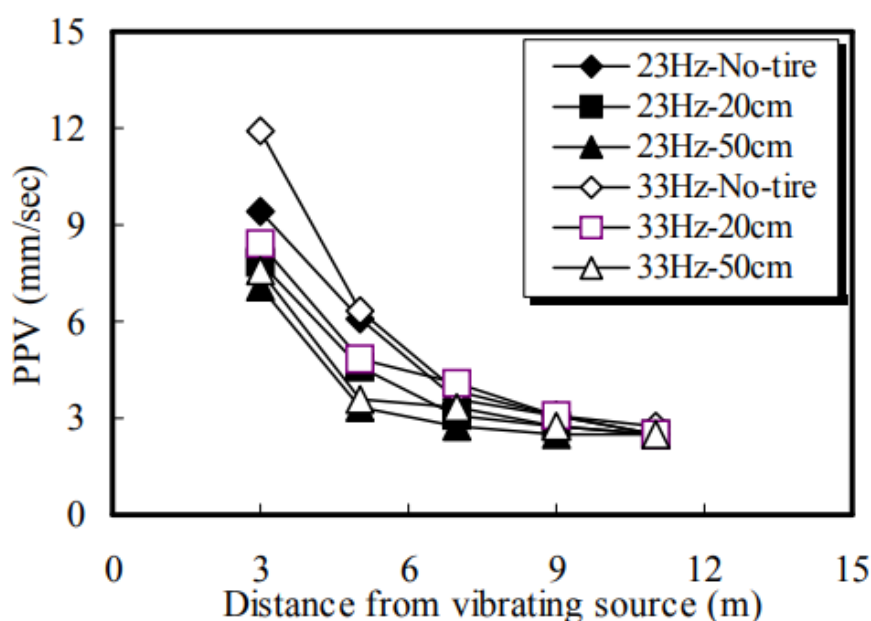
4.4 Tärinäeriste

Raideliikenteen lisääntyessä ja lähestyessä kaupunkien keskustoja ongelmaksi muodostuu sen maaperään sekä rakennuksiin johtama tärinä. Raideliikenteessä on käytetty jo pitkään polymeereistä valmistettuja tärinänvaimennuseristeitä. Rengasleikkeen tärinää tasaavat sekä vaimentavat ominaisuudet soveltuvat myös raideliikenteen rakenteisiin (KUVA 7). (Aurinko 2012.)



KUVA 7. Rengasleikkeen levitys tärinäeristeeksi. (Cheng, D. 2016.)

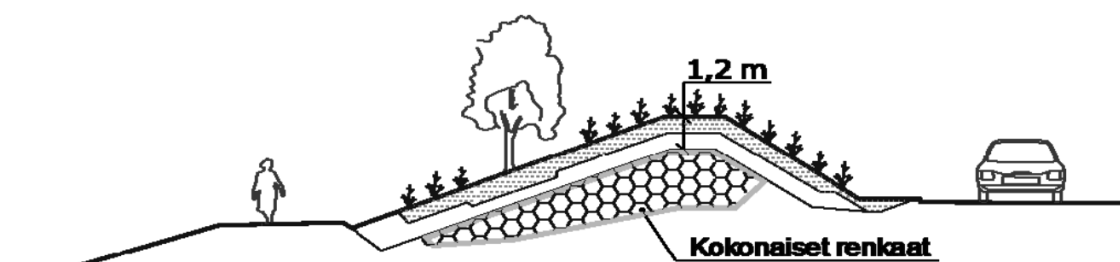
Etelä-Koreassa on tutkittu vuonna 2007 rengasleikkeen vaikutuksia raideliikenteen tärinään. Tutkimuksissa osoitettiin raideliikenteen yleisimmän tärinän taajuuden vaihtelevan 20–40 Hz tasolla. Pohjamaa oli kokeissa siltistä savea, jonka päälle rakennettiin 20 cm ja 50 cm paksut rengasleikekerrokset sekä 0,8 m paksu pengerrakenne. Kuviosta 2 havaitaan rengasleikkeen vähentävän maaperään kohdistuvaa tärinää 20 cm ja 50 cm kerroksella. Tutkimuksessa rengasleike vähensi 3 metrin etäisyydellä kiskosta tärinää 16 % 20 cm kerroksella ja 34 % 50 cm kerroksella. (Cho, Kim, Kim, & Lee 2007, 639.)



KUVIO 2. Rengasleikekerroksen vaikutus tärinään. (Cho, ym. 2007, 639.)

4.5 Vallirakenteet

Renkaat soveltuvat vallirakenteisiin hyvin ominaisuuksiltaan. Keveytensä ansiosta renkailla voidaan rakentaa myös pehmeälle maaperälle, johon louhe tai sora ei painonsa vuoksi sovi. Kuvassa 8 esitetään tyypillinen kokonaisilla renkailla rakennetun meluvallin tyyppikuva. Huomattava etu renkaita käytettäessä on taloudellisuus. Alhaisen ominaispainon ansiosta vallirakenteita ei tarvitse paaluttaa eikä erillisiä tukirakenteita tarvita. Kokonaisten renkaiden hyödyntäminen on teknis-taloudellisesti kustannustehokkainta leikkausprosessin jäätyä pois. Renkaiden käyttö valleissa on suhteellisen vakiintunutta Suomessa ja rakentamisesta löytyy ohjeistus InfraRYL:n infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 8. Tyypipoikkileikkaus meluvallin kevennyksestä kokonaisilla renkailla. (Liikennevirasto 5/2011 kuva 14.)

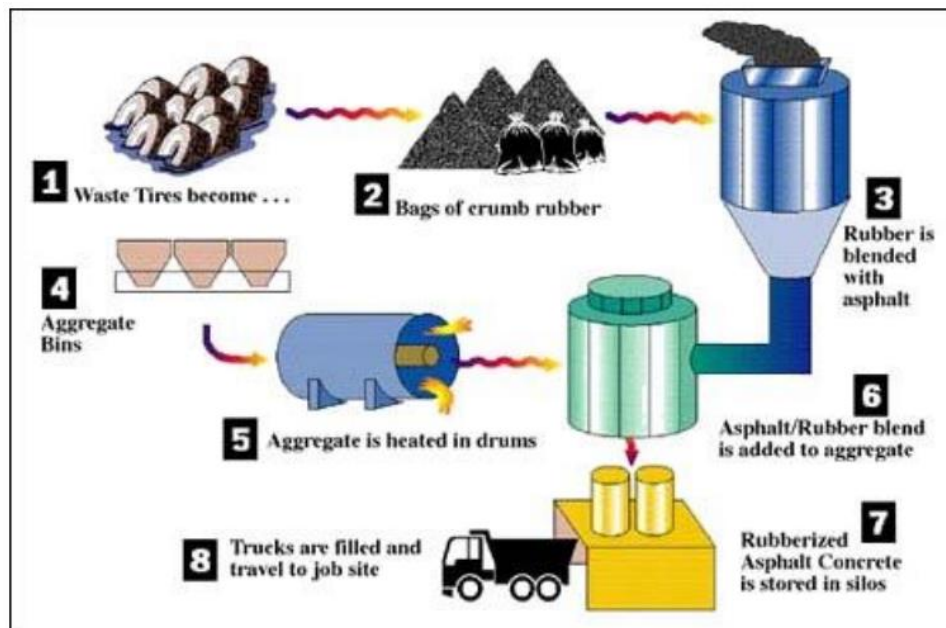
Renkaita käytetään yleisesti myös ampumaradoilla suoja- ja meluvalleissa. Ympäristölupamääräysten mukaisesti ampumaradoille edellytetään asianmukaisia vallirakenteita. Ampumaratakäyttöä puoltaa myös helppo purkaminen, mikäli rakenteita halutaan siirtää tai purkaa. Renkaiden ominaisuudet pysyvät samanlaisina rakenteesta purkamisen jälkeen ja aines on täysin uudelleen hyödynnettävissä. Käyttö lisääntyy ampumaradoilla jatkuvasti kiristyneiden ympäristölupa-vaatimusten myötä ja ampumaseuroille renkailla toteutettavat vallirakenteet ovat kustannustehokas vaihtoehto. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

4.6 Kulutuskerrokset

Rengasmateriaalia on käytetty RMB-asfaltin sideaineena jo yli 40 vuoden ajan. Rengasmateriaalin ominaisuudet soveltuvat erilaisten päällysteiden raaka-aineksi. Päällysteessä käytetty rengasmateriaali tekee tuotteesta elastisen ja vettä läpäisevän. Yleisiä käyttökohteita ovat RMB-asfaltti, keinoonurmet, ratsastuskentät, sekä leikkipaikkojen turva-alustat. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

4.6.1 RMB-asfaltti

Kierrätysrengasmodifioitu kumibitumi sisältää kumijauhetta sekä bitumia. Asfalttiasemalla tai öljynjalostamolla voidaan valmistaa jatkuvatoimisesti kumibitumia. Kuvasta 9 nähdään RMB-asfaltin valmistusprosessi asfalttiasemalla. Valmistuksessa kumijauhe sekoitetaan kuumaan bitumiin. Kumijauheen määrä bitumissa vaihtelee sideaineen elastisuuden mukaan. Kumijauheen määrä vaihtelee 13–27 % välillä. (Aurinko 2016.)



KUVA 9. RMB- asfaltin valmistusmenetelmä asfalttiasemalla. (Aurinko, H. 2016, 16.)

Maailmalla kumiasfalttia on käytetty jo 40 vuoden ajan. Edelläkävijä tekniikassa on ollut Yhdysvallat, jossa kumibitumiasfalttia on valmistettu jo 1980-luvulta saakka. Suomessa ensimmäinen kumiasfalttitie on valmistunut vuonna 2016, käyttö sen jälkeen ei ole kuitenkaan yleistynyt. RMB-asfaltin etuina tavalliseen asfalttiin verrattuna on alhaisempi tyhjätila, joka parantaa asfaltin tiivistymistä. Korvattaessa osa bitumista kumijauheella asfaltin kylmäkestävyys paranee sekä halkeamat vähenevät elastisuuden kasvaessa. RMB-asfaltin melutaso on osittain hiljaisempi tavalliseen asfalttiin verrattuna. Tutkimuksissa on osoitettu RMB-asfaltin vähentää tiemelua 80 km/h nopeudessa 0,2–1,2 dB verran. (Aurinko 2016.)

RMB-asfalttia on valmistettu vähäisiä määriä Suomessa, kuitenkin Ruotsissa siitä on jo olemassa ohjeistuksia sekä koekohteita, joita olisi syytä tarkastella. Vuonna 2016 RMB-asfaltin valmistuskustannukset on 10 % suuremmat verrattuna tavallisella sideaineella valmistettuun asfalttiin. Säästöt RMB-asfaltin käytöstä syntyvät kuitenkin 5–10 vuoden kuluttua halvempina ylläpitokustannuksina. Halkeamia, murtumia sekä lajittumia ilmenee vähemmän tavalliseen asfalttiin verrattuna. Nastarengaskulutuksen sekä kulutuskestävyyden on osoitettu olevan normaalisideaineista asfalttia parempi. (Aurinko 2016.)

4.6.2 Urheilukentät

Urheilukenttien tekonurmi muodostuu tekonurmikerroksesta sekä pohjarakenteesta. Tekonurmen tulee olla vettä läpäisevä, joustava, kulutuksen sekä roudan kestävä. Monikerroksiseen pohjarakenteeseen voidaan hyödyntää rengasmateriaalia joustokerroksena sekä pintakerroksessa tukemiseen. Rengasgranulaatin sekä sideaineen seoksesta voidaan valmistaa yleisurheilukentille mattoja tai käyttää sitä valettavana päällysteenä. Rengasgranulaatti on yksi urheilukentillä yleisimmin käytetty uusiomateriaali. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

4.7 Räjätysmatot

Renkaista valmistetaan myös suojamattoja räjäytystyömaille. Matoissa käytetään tyypillisesti kuorma-autojen renkaita. Matot ovat painavia ja parhaimmillaan matto painaa 80 kg/m². Taulukosta 5 selviävät tyypilliset räjäytysmattojen koot sekä painot. Rengasmatot kestävät noin sata räjäytystä ennen niiden ominaisuuksien heikentymistä. Paksun ja tiiviin rakenteen ansiosta se estää räjäytyksestä aiheutuvaa kivien sinkoutumista sekä leviämistä. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

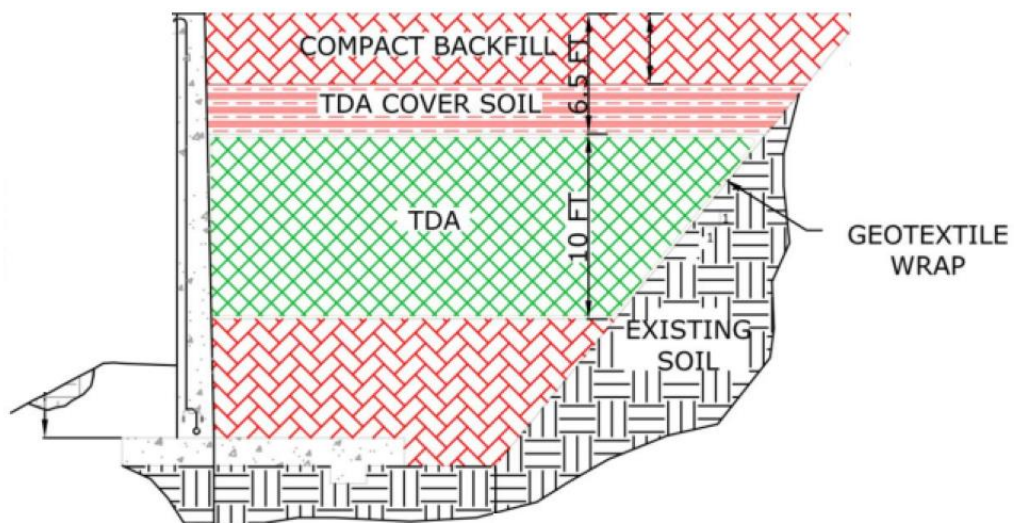
TAULUKKO 5. Räjätysmattojen vakiokoot sekä painot.

koko	m ²	paino
2x3 m	6	500 kg
3x3 m	9	700 kg
4x3 m	12	900 kg
5x3 m	15	1100 kg
6x3 m	18	1300 kg

4.8 Tukiseinät ja -muurit

Rengasleike RL1 mahdollistaa kevyemmän tukimuurirakenteen sekä vähentää muuriin kohdistuvaa maanpainetta. Rengasmateriaali toimii rakenteessa myös suodatinmateriaalina, joka ei padota hulevesiä. Tutkimuksissa on osoitettu tukimuriin kohdistuvan vaakasuuntaisen maanpaineen vähentyvän 45 % verrattuna tavanomaiseen maa-aineksilla tehtyyn taustatäyttöön. (Reddy Murali & Reddy 2017.)

Kuvassa 10 tyyppi-poikkileikkaus osoittaa kuinka tukimuureissa voidaan hyödyntää rengasleikettä taustatäyttönä. Kuvassa vihreällä rasterilla on piirretty rengasleikekerros, joka on noin 3 metriä paksu. Leikkeen päällä on punaisella rasterilla maa-aineksilla tiivistetty 2 metriä paksu tiivistetty taustatäyttö. Leikkeen ympärille on asetettu suodatinkangas, joka erottaa sen maaperästä.



KUVA 10. Tyyppi-poikkileikkaus kulmatukimuurin taustatäytöstä rengasleikkeellä. (Cheng, D. 2016, 19.)

Maanpaineeseen vaikuttaa lisäksi rengasmateriaalin päälle tulevan maakerroksen paksuus sekä pintakuorman suuruus. MARA-asetusta ei sovelleta väylärakenteiden täyttöihin, joiden tehtävä on tukea väylää. Rengasmateriaalin käyttö tukimuurin taustatäytöissä edellyttää ympäristöluvan hakemista. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

4.9 Törmäyسةsteet

Autonrenkaat soveltuvat myös törmäyسةsteiksi niin työmaille kuin moottoriurheiluradoille. Renkaista pinotaan nippuja (KUVA 11), jotka pysyvät yhdessä törmäyksen sattuessa. Elastisena sekä vaimentavana materiaalina se toimii kuten kaupalliset estetuotteet. Etuina kierrätysrenkaista valmistetuilla törmäyسةsteillä ovat kustannustehokkuus sekä pitkä käyttöikä. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 11. Kuorma-auton renkaista valmistettuja rengasnippuja. (Trafino 2023.)

5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

5.1 Rengasleikkeen vaikutus pohjaveden laatuun

Yhdysvalloissa on tutkittu rengasleikkeen vaikutusta pohjaveteen. Tutkimuksissa peitettiin 1,4 tonnia RL3 (75 mm) rengasleikettä pohjavedenpinnan alapuolelle. Koekohteet rakennettiin turvemaan, savimaan sekä moreeniin. Rengasleike asennettiin 0,7–1,8 m leveään kaivantoon pituussuuntaisesti pohjaveden virtausta kohti. Näytteistä tutkittiin kolmen vuoden ajan metalleja, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) sekä puoli haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (SVOC). (Humphrey & Swett 2006, 19.)

Näytteistä ilmeni, ettei pohjaveden laadussa ylitetty Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston asettamia juomaveden laatukriteereitä. Suomen sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista on kuitenkin Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston laatukriteerejä tiukempi. (Finlex 2/2023 LIITE 1.)

Näytteet osoittavat, että rengasleike ei nosta metallien pitoisuuksia luonnollisesti vedessä ilmeneviä pitoisuuksia korkeammaksi. Näytteistä ilmeni kuitenkin raudan, sinkin sekä mangaanin pienien määrien liukenemista. Terveydelle haitallisia määriä ei kuitenkaan mitattu. Raudan, sinkin sekä mangaanin pitoisuudet palasivat luonnostaan pohjavedessä havaittavalle tasolle 0,6–3 metrin etäisyydellä rengasleikkeestä. Haihtuvat sekä puoli haihtuvat orgaaniset yhdisteet eivät myöskään ylittäneet juomaveden laatukriteerejä. (Humphrey & Swett 2006, 19.)

5.2 Veden puhdistus

Rengasleikettä voidaan hyödyntää ravinnepitoisten vesien puhdistukseen. Puhdistus perustuu leikkeen kykyyn toimia mikrobien kasvualustana sekä kiintoaineksen suodatukseen. Renkaan tukirakenteessa olevat teräspunokset saostavat vedestä fosforia. Suomessa on tutkittu vuosina 2004–2018 rengasmateriaalin kykyä puhdistaa teollisuuden ja kotitalouksien jätevesiä. Lisäksi on tutkittu luonnonvesiin rakennettavia vettä puhdistavia patorakennelmia. Tutkimuksissa on havaittu rengasmateriaalin toimivan myös veden puhdistuksessa. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Haja-asutusalueella voidaan hyödyntää kotitaloudessa syntyvien jätevesien puhdistukseen rengasleikkeestä rakennettavaa biomoduulisuodattamo (KUVA 12). Tyypilliseen maasuodatukseen verrattuna biomoduulisuodattamolla on tontilla pieni tilantarve. Lisäksi kaupallisiin tuotteisiin verrattuna sillä on edullisempi hankintahinta. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 12. Rengasleikemateriaalista valmistettu biomoduulisuodattamo. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Ravinteiden keräykseen valumavesistä on kehitetty patona toimiva ravinnekier- tokuutio, jossa ravinteikas liete kerääntyy altaan pohjalle (KUVA 13). Kuutio ase- tetaan valumaojaan ja se pysyy sulana ympäri vuoden. Virtaava vesi puhdistuu suodattuessaan mikrobien lävitse. Ravinnekier- tokuution etuina on sen helppo ra- kennettavuus ja vähäinen kaivuutöiden tarve. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)



KUVA 13. Ravinteiden talteenottoon rengasleikkeestä valmistettu ravinnekierto-kuutio. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Rengasmateriaali soveltuu myös vaativampien puhdistuskohteiden suodatusmateriaaliksi. Suodatusmateriaaliksi se soveltuu muun muassa jätteiden käsittelylaitoksiin, teollisuuslaitoksiin, kaivosalueille sekä kaatopaikoille. Vaativammassa kohteissa tulee suunnitella puhdistusratkaisut kohdekohtaisesti. Toteutus riippuu kohteen halutusta puhdistustuloksesta, veden epäpuhtauksien määrästä ja laadusta, käsiteltävän veden määrästä, lämpötilasta sekä pH:sta. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2019.)

Yhdysvalloissa on tutkittu mikrobien kiinnittymistä rengasleikkeeseen (KUVA 14). Tutkimuksissa ohjattiin kiinteästä aineksesta poistettuja jätevesiä rengasleikemateriaalin sekä kivipesän läpi. Virtaama pidettiin vakiona noin 1300 l/vrk, joka vastaa tyypillisen yhdysvaltalaisperheen jätevesien määrää vuorokaudessa. Tutkimuksissa selvisi, että rengasleikemateriaaliin kiinnittyi puhdistavia mikrobeja huomattavasti enemmän kivimateriaaliin verrattuna. (Finney, Chandler, Bruce, & Apple 2013.)



KUVA 14. Mikrobin kasvu rengasleikkeeseen 7, 10 ja 17 kuukauden jälkeen. (Finney, B., Chandler, Z., Bruce, J. & Apple, B. 2013.)

6 KUSTANNUSLASKENTA

Poistettu julkaistavasta versiosta.

7 POHDINTA

7.1 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tehdä selvitys rengasmateriaalin ominaisuuksista sekä käyttökohteista infrarakentamisessa. Ulkomaalaisia tutkimusartikkeleita aiheesta löytyy runsaasti mutta Suomessa rengasmateriaalin hyödyntämistä on tutkittu vielä varsin vähän. Uusiomateriaalien hyödyntäminen tulee olemaan iso osa infrarakentamisen tulevaisuutta ja näin ollen on tärkeää olla ennakkoluuloton uusien materiaalien suhteen.

Uusiomateriaaleista tulee tehdä houkutteleva vaihtoehto urakoitsijoille, jotta käyttö yleistyy. Suurten tilaajaorganisaatioiden kuten Väyläviraston ja kaupunkien tehtävänä on vaatia kierrätysmateriaalien käyttöä kohteissaan ja tehdä materiaaleista tunnettuja sillä tavoin.

Rengasmateriaali soveltuu moneen infrarakentamisen rakenteeseen. Se on kustannustehokas vaihtoehto, joka vastaa ominaisuuksiltaan monelta osin kaupallisia tuotteita. Rengasmateriaalin saatavuus on hyvä nyt ja tulevaisuudessa. Sen käyttöä tulee lisätä tulevaisuudessa laajemmin, jotta neitseellisiä materiaaleja käytettäisiin mahdollisimman säästeliäästi. Suomessa suhteellisen halpa sekä laajasti saatavilla oleva kiviaines ei ole kannustanut laajaan uusiomateriaalien hyödyntämiseen aiemmin.

7.2 Jatkotutkimusehdotus

Rengasmateriaalin uusiokäyttö Suomessa on suhteellisen yleistä keventeissä sekä vallirakentamisessa, mahdollisuuksia olisi kuitenkin laajentaa käyttökohteita. Rengasleikkeen sekä kokonaisten renkaiden hyötykäyttöä on tutkittu ja hyödynnetty laajemmin ulkomailla. Erityisesti Yhdysvalloissa on tutkittu rengasmateriaalin käyttöä muun muassa raideliikenteen tärinäeristeenä sekä RMB-asfaltin valmistuksessa. Raiderakentamisen lisääntyessä olisi aiheellista tutkia rengasleikkeen käyttöä raideliikenteen tärinäeristeenä myös Suomessa.

Bitumin hinnassa on viime vuosina nähty poikkeuksellista nousua johtuen muun muassa geopoliittisista syistä. Bitumin korkea hinta väistämättä vaikuttaa Suomen rappeutuvan tiestön päällystyskilometrien vähenemiseen. Ruotsissa on tehty kattavia tutkimuksia RMB-asfaltin nastarengaskestävyydestä, joita voidaan soveltaa suoraan Suomen olosuhteisiin. Kumirouheen käytöllä asfaltin sideaineena (RMB-asfaltti) voitaisiin vähentää neitseellisen bitumin käyttöä ja näin ollen saavuttaa kustannussäästöjä. Vuonna 2016 valmistuskustannukset olivat 10 % tavanomaista asfalttia suuremmat. Olisi aiheellista selvittää nykypäivänä RMB-asfaltin kustannukset ja kuinka se vertautuu normaalisideaineiseen asfalttiin.

LÄHTEET

Aurinko, H. 2016. Selvitys kierrätysrengasmodifioidun kumibitumin käyttämisestä RMB asfaltin sideaineena. Laatuinsinöörit Oy. Viitattu 20.3.2023
<https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2016-AK-58651.pdf>

Aurinko, H. 2012. Selvitys rengasrouheen käyttömahdollisuuksista rata- ja tierakenteissa. Liikennevirasto: Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 42/2012. ISSN 1798-6664. Viitattu 8.4.2023
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121525/lts_2012-42_978-952-255-194-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cheng, D. 2016. Tire-derived aggregate usage guide. Viitattu 9.4.2023
<http://www.dot.state.mn.us/mnroad/nrra/structure-teams/geotechnical/files/meetings/tda-user-guide.pdf>

Cho, S., Kim, J., Kim, J. & Lee, K. 2007. Utilization of Waste Tires to Reduce Railroad Vibration. ISSN: 1662-9752. Viitattu 20.3.2023
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=14a4c6b23e84eb859639b5ffc896a866c83fcde7>

Edeskär, T. 2006. Use of Tyre Shreds in Civil Engineering Applications. ISSN 1402-1544. Viitattu 8.4.2023
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:989894/FULLTEXT01.pdf>

Finlex. 2023. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen muuttamisesta. 2/2023. Viitattu 17.4.2023
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230002>

Finney, B., Chandler, Z., Bruce, J. & Apple, B. 2013. Properties of tire derived aggregate for civil engineering applications. Viitattu 11.4.2023
<https://www2.calrecycle.ca.gov/Publications/Download/1086?opt=dl>

GRK Suomi Oy. 2023. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2023

<https://www.grk.fi/konserni/yhtiöt/>

Humphrey, D. & Swett, M. 2006. Literature review of the water quality effects of tire derived aggregate and rubber modified asphalt pavement. US EPA archive document. Viitattu 9.4.2023

<https://archive.epa.gov/epawaste/conservation/materials/tires/web/pdf/tdastudy.pdf>

Hylands, K. & Shulman, V. 2003. Civil engineering applications of tyres. ISSN: 1478-0143. Viitattu 20.3.2023

<https://www.sdab.se/media/1553/civil-engineering-applications-of-tyres-2003.pdf>

InfraRYL 2022. 181144 Kierrätysrengaspenkereet. Viitattu 24.2.2023

https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_2/18100.html#TL18325id1557020

Liikennevirasto. 2011. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston julkaisuja 5/2011. Viitattu 24.2.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf

Nokian Renkaat Oyj. 2022. Renkaan tuotantoprosessi. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2023

<https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/renkaan-tuotantoprosessi/>

Pirkanmaan ELY-keskus. 2022. Rengastilastot. Verkkosivu. Viitattu 7.2.2023

https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Jatetilastot/Tuottajavastuun_tilastot/Rengastilastot

Pyrum Innovations AG. 2023. Pyrum rubber granules. Verkkosivu. Viitattu 8.4.2023

<https://www.pyrum.net/en/solutions/products/pyrum-rubber-granules/>

Reddy, S., Murali, A. & Reddy, R. 2017. Sustainable Utilization of Scrap Tire Derived Geomaterials for Geotechnical Applications. DOI:10.1007/s40098-017-0273-3. Viitattu 6.4.2023

https://www.researchgate.net/publication/320036506_Sustainable_Utilization_of_Scrap_Tire_Derived_Geomaterials_for_Geotechnical_Applications

Repo, A. 1997. Renkaiden hyödyntäminen tierakenteessa. 2. painos. Tielaitos: Tielaitoksen esiselvitys 9/1997. Viitattu 24.2.2023

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138168/3275tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suomen geoteknillinen yhdistys. 2022. Rengaskevennysohje. Viitattu 14.3.2023
<https://sgy.fi/content/uploads/2022/06/paatsema-rengaskevennysohje-2022.pdf>

Suomen Rengaskierrätys Oy. 2019. Edistyksellistä renkaan kierrätystä. Viitattu 19.1.2023

https://www.rengaskierratys.com/files/599/Suomen_Rengaskierratys_Edistyksellista_Renkaan_Kierratysta_2019.pdf

Suomen Rengaskierrätys Oy. 2022. Viitattu 22.1.2023

<https://www.rengaskierratys.com/yritys>

Trafino Oy. 2023. Rengasniput. Viitattu 17.4.2023

<https://trafino.fi/vuokraus/tyomaakaiteet-ja-tormayssuojat/rengasniput/>

Väylävirasto. 2022. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 20/2022. Viitattu 27.2.2023

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf

Ympäristöministeriö. 2019 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa: Soveltamisohje. Viitattu 16.3.2023

https://ym.fi/documents/1410903/38439968/MARA_soveltamisohje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf/7dbbfb52-a791-deb1-4550-0a1163dc2aa7/MARA_soveltamisohje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf?t=1603260912567