



Raskaan liikenteen päällysteratkaisut

Betonikiveyksellä kestävyyttä ja näyttävyyttä



Sisällysluettelo

Betonikiveyksellä kestävää ja näyttävää ajopintaa

Kuormituksenkestoa ja viihtyisyyttä.....	3
Betonikivipäällysteen edut.....	3
Betonikivien kokoja ja muotoja.....	4
Täydentävät betonituotteet.....	4
Värejä ja pintoja eri kohteisiin.....	4
Betonikiveys on kestävä ajopinta.....	5

Raskaan liikenteen kuormitus- ja rasitusvaatimukset

Liikennekuormat.....	6
Kulutusrasitukset.....	6
Sään vaikutukset.....	6

Betonikiveyksen mitoitus

Kantavuusmitoituksen perusteet.....	7
Mitoituksen lähtökohdat.....	7

Rakenteen mitoitusparametrit.....

Liikennekuormitus.....	8
Alusrakenteen kantavuus ja materiaali.....	10
Kerrosmateriaalien E_2 -moduulit.....	10
Rakennekerrosten laskenta.....	12
Mitoitus muilla alueilla.....	12
Sidottujen kantavien kerrosten käyttö.....	13
Betonikivipäällysteen kulutuskestävyys.....	13

Betonikivien ja -laattojen laatuvaatimukset

Tuotteet.....	14
Betonikiveys.....	15

Betonikivipäällysteen asentaminen

Asennussuunnittelu ja alustavat työt.....	16
Asennushiekan levitys ja tasaus.....	17
Betonikivien latominen.....	18
Betonikivien saumaus ja tiivistäminen täryttämällä.....	18
Koneellinen asennus.....	18



Betonikiveyksellä kestäväää ja näyttävää ajopintaa

Kuormituksenkestoa ja viihtyisyyttä

Betonikiveysten käyttö ympäristöjen rakentamisessa on lisääntynyt Suomessa viime vuosien aikana voimakkaasti. Betonikivien laajeneva tuotevalikoima luo yhä monipuolisempia mahdollisuuksia korkealaatuisten ja viihtyisien ympäristöjen luomiseen. Pihat, torit, kävelykadut, puistot, urheilu- ja vapaa-ajan alueet ovat jo tuttuja betonikiveysten käyttökohteita.

Keski-Euroopassa betonikiveyksiä on pitkään käytetty myös raskaan liikenteen alueilla. Katujen, suojateiden, pysäköintialueiden, bussiterminaalien, varastoalueiden ja huoltoasemien lisäksi yhä useammin myös satamien ja lentokenttien huoltoalueiden päällystemateriaaliksi valitaan betonikiveys.

Kotimaisten betonikivien valmistuksessa panostetaan entistä vaativimpiin käyttökohteisiin soveltuvien tuotteiden kehittämiseen ja valmistamiseen. Betonikivien kestävyys raskaan liikenteen alueilla on ollut erityisen kehitystyön kohteena. Koneellinen ladonta

on parantanut betonikiveysten kilpailukykyä laajoissa työkohteissa. Niinpä myös Suomessa betonikiveyksien käyttö on tullut varteenotettavaksi vaihtoehtoksi raskaan liikenteen vaativissa ja mittavissa kohteissa.

Betonikivipäällysteen edut

Betonikiveys sopii moniin käyttökohteisiin muita materiaaleja paremmin. Kivien ladontakuviot luovat viimeistellyn, viihtyisän ja mielenkiintoisen pinnan, joka nostaa alueen imagoa ja arvoa. Miellyttävän ja harmonisen ulkonäkönsä lisäksi betonikivipäällyste kestää suuriakin staattisia ja dynaamisia pistekuormia. Betonikiveys kestää hyvin myös sään ja lämpötilavaihteluiden sekä kemiallisten yhdisteiden, kuten öljyn, poltonesteiden ja suolan aiheuttamia rasituksia. Mahdollisten vaurioiden korjaaminen on helppoa, sillä tarvittaessa betonikiveys voidaan purkaa vaurioituneelta alueelta ja tehdä kokonaan tai osittain uusi kiveys. Liikenneväylillä betonikivipinnan hyvät kitkaominaisuudet etenkin talviolosuhteissa lisäävät turvallisuutta. Pimeässä ajettaessa betonikiveys heijastaa hyvin

valoa, mikä myös lisää turvallisuutta. Selkeät ja kestävät ajorata- ja suojatienmerkinnät on helppo tehdä läpivärjättyillä betonikivillä. Myös liikenteen kulkusuuntia ja pysäköintiä voidaan helposti ohjata värillisiä betonikiviä käyttäen. Kivetyn pinnan liikenne- ja pysäköintialueilla lisäävät viihtyisyyttä ja luovat vaihtelua kaupunkikuvaan sekä laajoille varastoalueille ja teollisuuspihoille.





Betonikivien kokoja ja muotoja

Betonikivet valmistetaan koneellisesti puristustäryttämällä maakosteasta betonimassasta. Raskaan liikenteen alueille valmistetut betonikivet ovat lujia, mittatarkkoja ja täyttävät kulumuskestävyydelle asetetut, tavanomaista tiukemmat vaatimukset.

Betonikiviä valmistetaan useita eri kokoja ja muotoja. Perusmuodon mukaan kivet kuuluvat joko suorakaide- tai reunaprofiloituihin kivityyppeihin. Reunaprofiloitujen eli sidekivien reuna on muotoiltu niin, että kivet lukkiutuvat keskenään ja muodostavat kantokyyvyltään erityisen kestävästä päällysteen. Kivien yleisimmät paksuudet ovat 60 mm, 80 mm ja 100 mm. Erikoistilauksena on saatavissa myös 120 mm paksuja kiviä. Raskaan liikenteen, moottoriajoneuvojen ja työkoneiden kulkuväylille suositellaan vähintään 80 mm paksuja kiviä.

Täydentävät betonituotteet

Eri käyttökohteisiin ja -tarkoituksiin on saatavissa runsas valikoima täydentäviä tuotteita:

- nurmikiviä ja reikälaattoja kaltevien pintojen verhoiluun

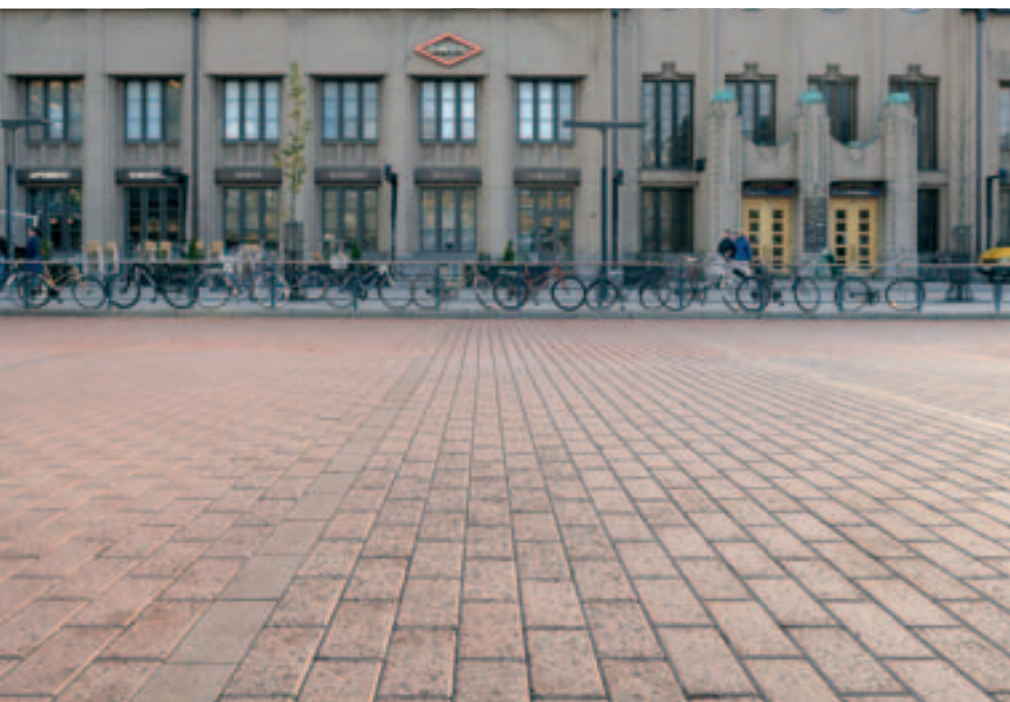
- vesikouruja pintavesien poisjohtamiseen
- porraskiviä ja -elementtejä
- ajoesteitä
- kalusteita, pöytiä ja penkkejä
- kasvien ja puiden istutusastioita ja elementtejä
- reunatukia

Värejä ja pintoja eri kohteisiin

Betonikiviä valmistetaan betonin harmaan perusvärin lisäksi usean eri harmaan, punaisen, ruskean, keltaisen sekä vaalean sävyissä. Myös sinisensä ja vihreän sävyisiä betonikiviä on saatavissa. Kulutuskestävyyttä vaativien ajoväylien kiveykseen suositellaan läpivärjättyä betonikiviä tai kiviä, joissa värillinen kerros on standardin SFS-EN 1338 vaatimusta paksumpi. Niinpä esimerkiksi ajokaistojen merkintään ja suojaiteiden päällystykseseen betonikivet tarjoavat tavanomaista huomattavasti kestävämmän ratkaisun. Pysäköinti-alueilla pysäköintiruudut voidaan merkitä kestävästi värillisin kivin. Betonikivistä tehtävillä merkinnöillä voidaan ohjata liikennettä esimerkiksi satama- ja lastausalueilla. Läpivärjätyn kivin tehdyn merkinnät kestävät kulutusta ja niiden siirtäminen purkamalla ja uudelleen asentamalla käy helposti.



Värien lisäksi betonikivivalikoimissa löytyy useita eri pintakäsittelyvaihtoehtoja, kuten käsittelemätön muottipinta, hiekkapuhallettu ja pesty pinta.



Betonikiveys on kestävä ajopinta

Kesäaikana raskaan liikenteen alueilla lämmön vaikutukset päällysteeseen saattavat olla haitallisia. Keskikesällä deformaatiosta johtuvat, syvät urat ajoväylillä (kuormituksen alla muotoutuneet) voivat olla vaaraksi liikenneturvallisuudelle tai haitata ajoväylän käyttöä. Liikennekuormitukset yhdistettynä jopa +50°C kesäisiin pintalämpötiloihin eivät aiheuta betonikivipäällysteeseen urautumista ja/tai päällystemateriaalin siirtymistä ajourilta sivulle (deformaatiota) eikä lämpöjännityksiä tarvitse ottaa huomioon mitoituksessa.

Lämpötilavaikutusten lisäksi päällysteitä rasittaa talvikautena toistuva jäätyminen-sulaminen, jossa on usein lisärasituksena lumen ja jään sulatuksessa käytettävien suolojen kemialliset rasitukset. Korkean lujuusominaisuutensa ansiosta ohjeiden mukaan tehtyjen rakennekerrösten varaan betonikivistä tehty ajopinta kestää hyvin em. rasituksia.

Ajokaistojen merkintään ja suojaiteiden päällystykseseen betonikivet tarjoavat tavanomaista huomattavasti kestävämmän ratkaisun. Läpivärjätyin kivin tehdyt merkinnät kestävät kulutusta ja niiden siirtäminen purkamalla ja uudelleen asentamalla käy helposti.





Raskaan liikenteen kuormitus- ja rasitusvaatimukset

Liikennekuormat

Katujen, teiden, pysäköintialueiden ja varastokenttien päällysrakenteet joutuvat alttiiksi monenlaisille kuormituksille ja rasituksille. Pääasiallisesti kuormitusta aiheuttaa liikenne, kun pyöräkuormat aiheuttavat väylien rakenteeseen erilaisia puristus-, veto- ja leikkausjännityksiä. Pyöräkuorma määrätty ajoneuvon painon ja renkaiden ilmanpaineen mukaan. Henkilöauton ja kuorma-auton aiheuttamat rasitukset poikkeavat selvästi toisistaan. Vain kuorma-autot aiheuttavat rakenteeseen päällysteen paksuusmitoitukseen vaikuttavia jännityksiä tai muodonmuutoksia. Varasto- ja satama-alueilla trukki- ja vaunuliikenteen umpikumi- pyörät aiheuttavat viivakuormia, ja konttien sekä perävaunujen tukijalat pienialaisia pistekuormia.

Rakennesuunnittelussa huomioon otettavia, tärkeitä tekijöitä ovat myös ajoneuvon jarruttaessa, kiihdyttäessä tai kaarreajossa syntyvät horisontaaliset voimat. Näitä rasituksia esiintyy bussikaistoilla ja -pysäkeillä sekä katujen risteysalueilla ja lastausreiteillä.

Kulutusrasitus

Suomen oloissa merkittävä, päällysteiden kulumista aiheuttava tekijä on renkaiden nastoitus. Useimmissa henkilöautoissa on nastarenkaat, kun taas raskaista ajoneuvoista, esim. bussit ja kuorma-autot, vain pieni osa käyttää nastarenkaita. Betonipäällysteet soveltuvat myös henkilöautoliikenteen väylille, joissa ajonopeudet eivät ylitä 50 km/h. Moottoriajoneuvoliikenteen rasittamilla alueilla valitaan tähän tarkoitukseen valmistettuja, kovaa

kulutusta kestäviä betonikivituotteita, joissa kulutuskestävyys on vähintään kulutuskestävyysluokkaa 4 (InfraRYL 2006) tai erikoiskiviä (ks. taulukko 7).

Sään vaikutukset

Sään vaikutukset on otettava huomioon päällysteiden ja rakennekerrosten mitoituksessa. Lämpötilavaihtelut aiheuttavat usein jännityksiä, routa voi aiheuttaa päällysrakenteen liikkumista ja runsaat sadevesimäärät saattavat alentaa kantavuutta.





Betonikiveyksen mitoitus

Kantavuusmitoituksen perusteet

Roudan vaikutukset huomioiva mitoitus voidaan tehdä joko Tiehallinnon tai Suomen kuntatekniikan yhdistyksen julkaisuissa esitettyjä ohjeita noudattaen. Kadun ja tien suunnittelussa kantavuudella tarkoitetaan rakenteen kykyä vastustaa liikennekuormien vaikutuksesta syntyviä muodonmuutoksia. Mitä parempi rakenteen kantavuus on, sitä pienempiä ovat kuormitusten aiheuttamat taipumat.

Kantavuus voidaan mitata ja ilmoittaa usealla eri tavalla. Yleisimpiä ovat taipumamittauslaitteet, levykuormituslaite ja raskas pudotuspainolaite. Mittauksissa saadun taipuman, painuman tai taipumasuppilon avulla voidaan määrätä eri rakennekerrosten ja koko rakenteen kimmomoduulit tavallisimmin E_2 -arvona, johon Suomessa käytettävät katu- ja tierakenteiden mitoitusmenetelmät yleisesti perustuvat.

Mitoituksen lähtökohdat

Liikenne- ja lämpötilakuormitusten

aiheuttamat jännitykset ja muodonmuutokset rakenteen kerrosten rajapinnoilla ovat mitoituksen tärkeimpiä lähtökohkia. Taipuisilla päällysteillä (asfaltti) mitoitukseen vaikuttavia jännityksiä ovat päällysteen tai bitumilla sidottujen kerrosten alapinnan taivutusvetojännitys ja pohjamaan pystysuora puristusjännitys. Jäykällä päällysteillä (valettu betonipäällyste) laatan alapinnan taivutusvetojännitys ja mahdollisen sementillä sidotun tukikerroksen vetojännitykset määräävät mitoituksen.



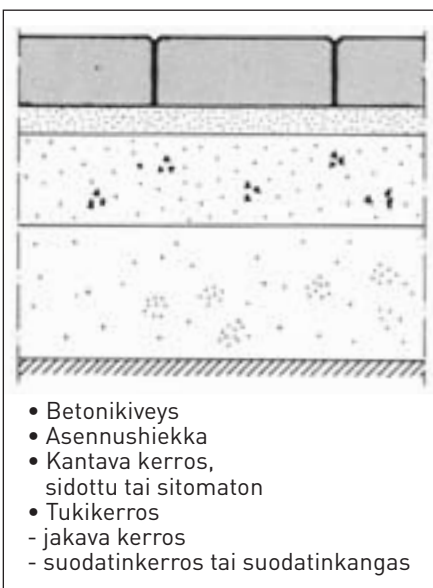
Betonikivipäällyste muodostuu pinta-alaltaan pienistä ja paksuista kappaleista sekä lukuisista saumoista. Betonikivipäällystettä kuormitettaessa sen alareunaan ei synny taivutusvetojännityksiä. Toisaalta betonikivipäällyste toimii taipuisan päällysteen tavoin, jolloin rakennemitoituksessa voidaan käyttää betonikivipäällysteelle ominaista E_2 -arvoa. Käytännössä betonikivipäällysteen kimmomoduuli on pienempi kuin valetulla betonipäällysteellä, mutta suurempi kuin asfaltilla.

Betonikivipäällysteen mitoittavia tekijöitä ovat pohjamaan ja sitomattomien rakennekerrosten pystysuorat puristusjännitykset. Näiden on oltava pieniä, jotta rakenne ei murre kuormitettaessa. Jännityksiä olennaisempaa betonikivipäällysteelle on, ettei rakenne pääse raiteistumaan (urittumaan) liikenteen aiheuttaman rakennekerojen tiivistymisen ja mahdollisten muodonmuutosten seurauksena. Betonikivien muotoilulla voidaan vaikuttaa päällysteen vetojännitysten vastaanotto- ja siirtokykyyn. Reunaprofiloidut, lukkiutuvat kivet (ns. sidekivet) soveltuvatkin erityisen hyvin vaativimpiin päällysteikohteisiin.



Rakenteen mitoituspparametrit

Betonikivipäällysteen alaiset rakennekerrokset eivät katualueella eroa olennaisesti taipuisan päällysteen kerrosrakenteesta (kuva1). Betonikiveys korvaa osittain tai kokonaan sidotut kerrokset.



Kuva 1: Rakennekerrosten nimitykset

Päällysrakenteen mitoitukseen vaikuttavat liikennekuormitus, alusrakenteen kantavuus ja materiaali sekä kerrosrakenteen E₂-moduulit.

Katuluokka	Kantavuus MN/m ²
Katuluokka 1	500
Katuluokka 2	420
Katuluokka 3	350
Katuluokka 4	250
Katuluokka 5	200
Katuluokka 6	175

Taulukko 1: Katurakenteelta vaadittava kantavuus (E₂) katuluokasta riippuen

Liikennekuormitus

Liikennekuormitus ilmoitetaan päällysrakenteen suunnittelun mitoitusiän (yleensä 20-30 vuotta) aikana tapahtuvien 100 kN:ksi muutettujen yksikköakselien ylityskertojen lukumääränä. Lisäksi on otettava huomioon, että vaikka tieliikenteessä sallitaan vain



100 kN:n akselipaino ja 160 kN:n teli-paino, kaupungissa raskaskuljetusten akselipaino voi olla 140 kN. Tällä on suuri vaikutus yksikköakselien las-kentaan.



Kadun luokka	Suurin sallittu akselipaino, kN	Liikennemäärä		Kuormituskertaluku
		ajoneuvoja /vrk	rask.ajon. /vrk	
1. Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääliikennekatu (2+2 ajokaistaa)	140	>30 000	3 000	$1,0 \times 10^7$
2. Raskaasti liikennöity moottori- tai pääliikennekatu (2+2 ajokaistaa)	140	10 000	1 000	$4,0 \times 10^6$
3. Pääkatu, kokoojati- tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (1+2 ajokaistaa)	100	2 500	250	$1,0 \times 10^6$
4. Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	100	500	50	$1,5 \times 10^5$
5. Pientaloalueen asuntokatu tai huolto liikenteen väylät, henkilöautojen pysäköintialueet	100	10	2	$1,0 \times 10^4$
6. Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet, ei ajoneuvoliikennettä	20	-	-	-

Mitoitukseen liittyvää kirjallisuutta: Katusuunnittelun ja -rakentamisen ohjeet. Katu 2002. Suomen Kuntatekniikan yhdistys. Julkaisu N:o 11. Jyväskylä 2003.

Taulukko 2: Katujen luokitus niiden liikenneteknisen merkityksen mukaan.



Alusrakenteen kantavuus ja materiaali

Alusrakenteen kantavuus E_2 -moduulina ilmaistuna vaikuttaa tarvittavien rakennekerrosten paksuuteen. Alusrakenteen materiaali puolestaan vaikuttaa kantavuus- ja routimisominaisuuksiin. Routivuuden huomioonottaminen lisää rakenteen kokonaispaksuutta kantavuusmitoituksen vaatimaan paksuuteen verrattuna. Mitoituskantavuutena käytetään materiaalin ns. kevätkantavuusarvoa. Kadunrakennuksessa käytettävien alusrakenteiden kantavuus- ja routivuusluokitus on esitetty taulukossa 3.

Kerrosmateriaalien E_2 -moduulit

Kerrosmateriaalien E_2 -moduulien perusteella lasketaan tarvittavien rakennekerrosten paksuudet. Materiaalit voidaan korvata toisella materiaalilla seuraavan vastaavuuskaavan avulla:

$$h_1 = h_2 (E_2/E_1)^{1/3}$$

jossa h_1 ja h_2 ovat materiaalien 1 ja 2 vastinkerrospaksuudet ja E_1 ja E_2 niiden E_2 -moduulit. Tyypillisiä päällysrakennekerrosten mitoituksessa käytettävien materiaalien E_2 -moduuleja on esitetty taulukossa 4.

Maalaji	Tarkennus	Lyhennys	Luokka
Kallio	Kallio Louhe Murske	Ka Lo M	A
Kivet		Ki	A
Sora		Sr	B
Soramoreeni	Routimaton Routiva	rton SrMr SrMr	C E (F)
Hiekka	Routimaton karkea Routimaton keskikarkea Routimaton hieno Routiva keskikarkea Routiva hieno	rton kaHk rton keHk rton hHk ke Hk hHk	C D D (E) E E (F)
Hiekkamoreeni	Routimaton Routiva	rton HkMr HkMr	D (E) E (F)
Siltti Silttimoreeni		Si SiMr	F (G,E)
Savi	Kuivakuori ($h \geq 1$ m) Sitkeä ($Su \geq 25$ kN/m ²) Pehmeä ($Su < 25$ kN/m ²)	kuivak. Sa Sa Sa	E F (E) G
Lieju Turve		Lj Tv	G
Kantavuus	A = 300 MN/m ² B = 200 MN/m ² (150...280) C = 100 MN/m ² (70...150) D = 50 MN/m ² (35...70) E = 20 MN/m ² (15...35) F = 10 MN/m ² (5...15) G = 5 MN/m ²		

Taulukko 3: Pohjamaan kantavuusluokitus



Materiaali	E ₂ -moduuli MN/m ²
Asennushiekka	50...100
Betonikivi I (lukkiutuva)	5000
Betonikivi II (lukkiutumaton)	2500
Bitumisora	1500
Sementillä lujitettu kitkamaa	1500...2000
Kalkilla lujitettu koheesiomaa	200...400
Murske tai murskesora <ul style="list-style-type: none"> • normaali (0/50 tai 0/65) • huono rakeisuuskäyrän muoto • hienorakeinen (0/35) 	350 280 200
Luonnonsora <ul style="list-style-type: none"> • karkearakeinen, tasalaatuinen, kesällä tiivistetty • normaali • hienorakeinen 	280 200 150
Hiekka <ul style="list-style-type: none"> • normaali • hienorakeinen tai huonosti kuivatettu 	70 50
Murskattu moreeni (alla riittävä eristyskerros)	100

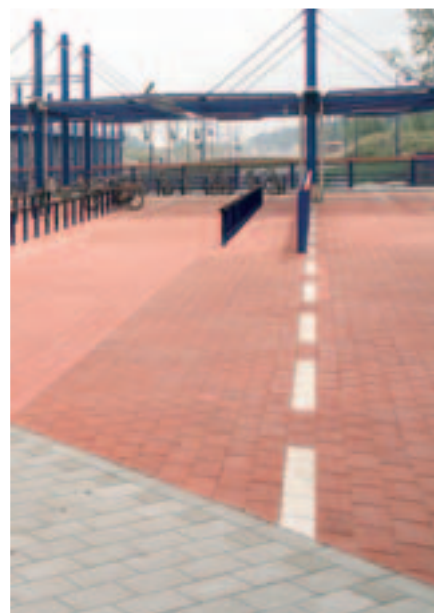
Taulukko 4: Päälystemateriaalien E₂-moduulit (Kevätkantavuusarvoja)

Kuten taulukosta 5 ilmenee, betonikiven mitoitusmoduuliin vaikuttaa kiven muoto. Kivet on luokiteltu kahteen luokkaan niiden lukkiutumisoimaisuuksien perusteella.

- Luokka I: Lukkiutuvat, reunaprofiloidut kivet (sidekivet)
- Luokka II: Suorakaidekivet, jotka eivät muodon perusteella ole lukkiutuvia (yleisin)

Kaikki reunaprofiloidut kivet eivät ole lukkiutuvia. Lukkiutumattomat, reunaprofiloidut kivet kuuluvat luokkaan II.

Saumojen välinen kitka vaikuttaa kaikkien kivityyppien toimintaan. Kitkan avulla kiveys toimii laattamaisesti ja pystyy siirtämään kuormituksia laajemmalle alueelle. Saumojen täyttö ja kiveyksen täryttäminen on tärkeä työvaihe.





Rakennekerrosten laskenta

Betonikivipäällysteen kantavuusmitoituksen lähtökohtana on kantavan kerroksen päältä mitattu kantavuus ja sille asetettu tavoitearvo. Tarkoituksena on estää alusrakenteen sallittujen jännitysten ylittyminen ja toisaalta liikennekuormitusten aiheuttamien raiteiden syntyminen. Betonikiveystä itseään ei tarvitse tarkastella taivutusvetojännitysten perusteella. Betonikivellä tarkoitetaan kappaletta, jonka kokonaispituuden (pidemmän sivun)

ja paksuuden suhde on enintään 4 ja joka on joka kohdastaan vähintään 50 mm paksu.

Katurakenteelta vaadittava kantavuus (E_2) on katuluokasta riippuen esitetty taulukossa 1.

Katuluokan perusteella on kiveyksen päältä mitattavalle kevätkantavuusarvolle asetettu samat vaatimukset kuin julkaisussa "Katu 2002 taipuisille päällysteille". Laskennallisesti kantavan kerroksen päältä mitattavalle kevätkantavuusarvolle saadaan seuraavat ohjearvot:

erityisesti taulukon 3 kantavuusluokissa A ja B.

Betonikivipäällyste voidaan mitoittaa katuluokissa 1-6 taulukon 6 avulla.

Mitoitustaulukko perustuu Odemarkin mitoitusyhtälöön, jonka avulla lasketut E-moduulit ovat staattisia kimmomoduuleja vastaten kuormituskokeessa saatavia E_2 -kantavuusarvoja.

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+0.81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1+0.81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{\frac{2}{3}}}}$$

- E_y on mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus, MN/m²
- E_A on mitoitettavan kerroksen alla oleva kantavuus, MN/m²
- h on mitoitettavan kerroksen paksuus, mm
- E on mitoitettavan kerroksen E-moduuli, MN/m²

Mitoitus muilla alueilla

Mitoitustaulukkoja ja em. kaavaa voidaan käyttää soveltaen myös muilla liikennealueilla, kuten satamissa, varastoalueilla, pihilla, puistoalueilla jne. ottaen huomioon seuraavassa esitetyt näkökohdat.



Katuluokka	Betonikivi	
	Luokka I	Luokka II
1	200	350
2	150	250
3	100	150
4-6	50 (100)*	75 (100)

* Suositellaan raiteistumisvaaran vähentämiseksi

Taulukko 5:
Laskennalliset kevätkantavuusarvot (MN/m²)

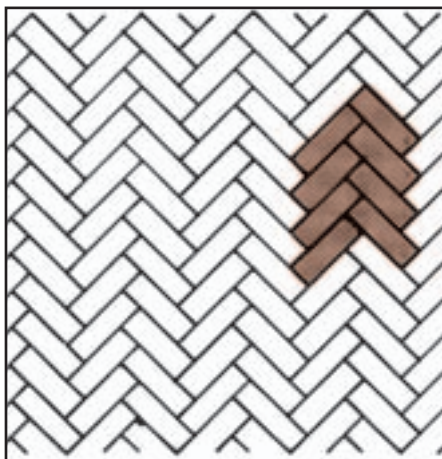
Käytännössä alustan kantavuus ylittää huomattavasti edellä esitetyt arvot

Mitoituksen lähtökohtana on ollut oletamus siitä, että liikenne on voimakkaasti kanaloitunut, ts. ajoneuvot ajavat eri kaistoilla ja esim. bussipysäkeillä jatkuvasti päällysteen samoissa kohdissa. Mikäli kuormittavien pyörien ylityskerrat jakaantuvat laajalle alueelle, voidaan mitoittavana liikennekuormituksena käyttää päällysteen eniten kuormitettua aluetta. Mitoittavaa kuormituskertalukua voidaan tällöin pienentää ja käyttää mitoittavana katuluokkana alhaisempaa luokkaa.

Sidottujen kantavien kerrosten käyttö

Katuluokissa 1-5 käytetään kulutuskerroksen kantavan kerroksen yläosana bitumilla sidottua, kantavan kerroksen osaa. Sidottujen kerrosten rakentamista puoltavat kantavuuskysymysten lisäksi alueiden rakentamiseen ja käyttöön liittyvät näkökohdat:

- Voidaan estää epätasaisten painumien syntyminen ja vähentää alustan kantavuuseroja.
- Sidottu pinta toimii rakentamisen aikaisena kulkuväylänä tapauksissa, joissa kiveystä ei voida rakentaa välittömästi muiden rakennekerrosten yhteydessä.
- Helpotetaan kunnossapitoa talvikaikana keskeneräisissä aluerakennuskohteissa.
- Lisätään rakenteen kantavuutta.
- Kantavuustarkastelun lisäksi on tarkistettava laskelmin, että sidottujen kerrosten alapinnan taivutusvetojännitykset ja väsytyslujuus kuormitusilanteissa eivät ylitä.



Kuva 2. Suorakaidekivillä suositeltu limitus ajoradoilla

Katuluokka		1	2	3	4	5	6
Betonikiven paksuus		≥80 mm	≥80 mm	≥80 mm	≥80 mm	≥80 mm	≥80 mm
Pohjamaa	Rakennekerros	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	100 150 -	70 150 -	50 150 -	- 150 -	- 150 -	- 150 -
B	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	100 150 -	70 150 -	50 150 -	- 150 -	- 150 -	- 150 -
C	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	150 200 -	120 150 -	80 150 -	50 150 -	- 150 -	- 200 -
D	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	150 150 400	120 150 300	80 150 300	50 150 300	- 150 300	- 150 300
E	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	150 150 600	120 150 550	80 150 500	50 150 550	- 150 400	- 150 600
F	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	150 150 800	120 150 750	80 150 750	50 150 800	- 150 650	- 150 800
G	kantava, sidottu kantava, sitomaton tukikerros	150 150 1050	120 150 950	80 150 950	50 150 1000	- 150 800	- 150 1000

Taulukko 6: Betonikivipäällysteen mitoitus ja kadun rakennekerrokset

Betonikivipäällysteen kulutuskestävyys

Betonikivipäällysteen suunnittelussa ja mitoituksessa vaikuttava tekijä on myös kiveyksen kulutuskestävyys nastarengasliikenteessä. Kiven kulutuskestävyys tulee mitoittavaksi niillä alueilla, jotka joutuvat alttiiksi voimakkaalle nastarengaskulutukselle. Tällaisia alueita ovat mm.

- suojatiet
- kaistat, joilla on runsaasti henkilöautoliikennettä
- liikenneympyrät (lisärasituksena hiertävä kulutus)
- kaarteet

Hyvin kulutusta kestävä betonikiven runkoaineen maksimiraekoon tulee olla normaalia suurempi, vähintään 6 mm, ja itse kiviaineksen laadun tulee olla kaikilta osin korkealaatuista sekä kiven lujuuden tavanomaista suurempi. Näihin ominaisuuksiin on kiinnitetty



huomiota myös betonikivien laadunvalvonnan yhteydessä. Tavanomaista suuremman runkoaineen maksimiraekoon käyttö tekee betonikiven pinnan karkeammaksi. Liikennealueilla tämä ei kuitenkaan ole ulkonäöllisesti haitaksi.

Yllä olevan taulukon mitoituksen lähtökohtana on, että betonikivellä voidaan korvata kadun kulutuskerroksen asfalttipäällyste ja osa bitumilla sidotusta kantavasta kerroksesta.



Betonikivien ja -laattojen laatuvaatimukset

Tuotteet

Betonikivien tulee täyttää standardin SFS-EN 1338 vaatimukset. Betonisten laattojen osalta noudatetaan standardia SFS-EN 1339. Standardeissa on tuotteille useita vaatimusluokkia, ja kansallinen päätös Suomessa sovellettavista vaatimusluokista on esitetty julkaisussa InfraRYL 2006. Tuotteiden laadun toteamisen osalta InfraRYL 2006 viittaa em. standardeihin. Tuotteissa voidaan käyttää CE-merkintää, jonka käyttö betonisten päällystetuotteiden osalta ei kuitenkaan ole pakollista Suomessa.

Johtavat betonisten päällystetuotteiden valmistajat kuuluvat kolmannen (valmistajista riippumattoman) osapuolen laaduntarkastuksen piiriin, josta osoituksena valmistajalla on oikeus käyttää tuotepakkauksessa, kuormakirjassa tms. tarkastusleimaa. Tarkastusleima tarkoittaa myös, että tuotteet

Taulukko 7: Betonikiville ja -laatoille kansallisesti hyväksytyt, standardeihin SFS-EN 1338 ja 1339 perustuvat vaatimusluokat InfraRYL 2006 mukaan sekä suositeltavat lisävaatimukset raskaasti kuormitettuille päällysteille.

Ominaisuus	Vaatus/vaatusluokka	Suositus
Ominaisalkaisuvetolujuus (kivet)	$\geq 3,6$ MPa	
Taivutuslujuus (laatat)	luokka 3U	laatat mitoitetaan vallitseville kuormituksille tapauskohtaisesti
Nimellismitat (kivet) • kun $h < 100$ mm • kun $h \geq 100$ mm	<ul style="list-style-type: none"> • leveys ja pituus ± 2 mm • paksuus ± 3 mm • leveys ja pituus ± 3 mm • paksuus ± 4 mm 	
Nimellismitat (laatat)	luokka 3R	
Säänkestävyys • Jääditys-sulatustesti	luokka 3D, massahävikki $\leq 1,0$ kg/m ²	
Värillisten tuotteiden rakenne	pintakerroksen paksuus ≥ 4 mm	kivien tulee olla läpivärjättyjä tai värillisen pintakerroksen vahvuus ≥ 8 mm
Kulutuskestävyys	luokka 4 I, Böhme-testi $\leq 18\,000$ mm ³ /5 000 mm ²	suositus Böhme-testi $\leq 12\,000$ mm ³ /5000 mm ² alueilla, joissa moottoriajoneuvoliikennettä ja nastarengas rasitus
Ulkonäkö	Käytetään vertailumallia	



	Sallittu poikkema
Sijainti ja korkeusasema	± 20 mm
Pinnan leveys poikkileikkauksessa ja rakenneosien välillä	± 50 mm
Pinnan tasaisuus 3 m:n matkalla	4 mm
Vierekkäisten kivien tasoerot	2 mm
Katkaisujäljen epätasaisuus	± 3 mm
Kiveyksen ja reunatuen välinen sauma	≤ 10 mm
Liityttäessä reunatukeen, kiveys reunatukea ylempänä	3...5 mm
Liityttäessä hulevesikaivoon, kiveys kantta ylempänä	5...10 mm
Liityttäessä tarkastuskaivoon, kiveys kantta ylempänä	0...5 mm



Taulukko 8: Valmiin betonikivipäällysteen sallitut mittapoikkeamat (InfraRYL 2006)

on valmistettu voimassa olevien kansallisten ohjeiden ja em. standardien mukaisesti.

Betonikiveys

Valmiin betonikiveyksen vaatimukset on esitetty julkaisussa "Infrarakenta-

misen yleiset laatuvaatimukset InfraRYL 2006". Näiden ohjeiden yleissääntöön mukaan valmiissa kiveyksessä ei saa olla silmämääräisesti havaittavia poikkeamia suunnitelmasta. Näkyvien pintojen tulee olla puhtaita eikä kivissä saa olla halkeamia. Katkaisujäljen ja sauman tulee olla suora ja ehjä.



Betonikivipäällysteen asentaminen

Asennussuunnittelu ja alustavat työt

Laadukas betonikivipäällyste edellyttää oikein ja huolellisesti tehtyjä pohjatyöitä. Pohjatöiden laajuus riippuu pohjamaan laadusta ja liikennemäärästä, kuten edellä mitoituksen yhteydessä on esitetty. Valmiin päällysteen tasaisuuden varmistamiseksi ja liikenteen aiheuttaman urautumisen vähentämiseksi on eri kerrosten huolelliseen, ohjeiden mukaiseen tiivistämiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Rakenteisiin pääsevän veden vaikutuksien vähentämiseksi on eri kerrosten kaltevuus suunniteltava siten, ettei vesi pääse lammikoitumaan. Erityisesti tämä koskee niitä rakenteita, joissa on vettä läpäisemättömiä, sementillä tai bitumilla sidottuja rakennekerroksia. Vaihtoehtoisesti tehdään vettä läpäisemättömän kerroksen alimpiin kohtiin reikiä, joista vesi pääsee imeytymään alempiin rakennekerroksiin.

Betonikiveyksen asentaminen aloitetaan kantavan kerroksen päältä. Kantavan kerroksen yläpinnan sallitut poikkeamat on esitetty taulukossa 9.

Betonikivipäällysteen rakentaminen sisältää seuraavat toimenpiteet:

- mittaukset
- alustan tasosijainnin ja tasaisuuden varmistaminen
- asennushiekkakerroksen levittäminen
- betonikivien asentaminen (käsityönä tai koneellisesti)

- saumaushiekan levittäminen ja harjaaminen saumoihin
- pinnan tiivistäminen täryttämällä
- saumaushiekoituksen tarkistaminen
- viimeistelytyöt

Ennen asennustyön aloittamista tulee tehdä työsuunnitelma, jossa esitetään mm. asennuksen aloituskohdat, etenemissuunnat vaiheittain, tarvittavat

Ominaisuus	Sallittu poikkema
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
• yksittäinen poikkeama	± 20 mm
• yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	20 mm
• keskiarvon poikkeama	± 10 mm
Yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 5 mm
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm

Taulukko 9: Kantavan kerroksen yläpinnan sallitut poikkeamat (InfraRYL2006)



mittaukset, työsaumat, pinnan asennusaikainen suojaus, tuotepinojen asettelu ja asennustyömaan yleinen järjestely.

Kivien kuljetukset ja sijoittelu työmaalla tulee toteuttaa siten, että siirtomatkat jäävät mahdollisimman lyhyiksi. Tuotelavat tulisi taten sijoittaa lähelle asennuspistettä ja jättää asennustyölle riittävä tila. Ympäristöasioiden (esim. jätteiden lajittelu ja kemikaalit) ja työturvallisuusasioiden (esim. henkilökohtaiset suojavälineet ja liikenteen ohjaus) huomioiminen työsuunnitelmassa tulee myös varmistaa.

Korkeusmerkkejä on hyvä asettaa kaikkiin pinnan kulma- ja taitepisteisiin, jolloin pinnan oikean tason valvonta on helppoa.

Asennushiekan levitys ja tasaus

Tiivistetyn, tasatun ja oikeassa korkeudessa olevan, kantavan kerroksen päälle levitetään asennushiekkakerros. Kerrospaksuuden tulee tiivistämättömänä olla 30 mm. Paksuuden mittaoleranssi on ± 10 mm, tällöin tiivistetyn asennushiekkakerroksen paksuudeksi tulee 20...30 mm. Liian paksu asennushiekkakerros aiheuttaa pääl-

lysrakenteen kokonaiskantavuuden alenemista ja mahdollisuudet raskaan liikenteen aiheuttamiin ajouriin kasvavat. Asennushiekkakerroksen tarkoituksena on tehdä mahdolliseksi valmiin betonikivipinnan tasaisuus tiivistämisen jälkeen.

Asennushiekkana käytetään seulottua, rakeisuudeltaan 0/8 mm:n hiekkaa. Samassa kohteessa tulee käyttää samaa hiekkakerroksen paksuutta. Murskelajitteiden käytöllä ei ole havaittu olevan em. hiekkaa parempia ominaisuuksia asennushiekkakerroksena.

Asennushiekka tulee levittää ja tasata vain kerralla päällystettävälle alueelle. Jos voidaan estää asennushiekkakerroksen päällä liikkuminen, voidaan se levittää koko päällystettävälle alueelle. Asennushiekka voidaan tasata oikolaudalla, kolalla tai oikolaudalla ja ohjureilla. Suurissa kohteissa voidaan käyttää myös koneellista levitystä esim. asfaltinlevitintä. Ennen betonikivien asennusta ei asennushiekkakerrosta saa tiivistää, eikä sen päällä saa liikkua.

Asennushiekan tasaus on tärkeä työvaihe, sillä siinä tehdyt virheet ja huolimattomuus näkyvät valmiin päällysteen pinnan laadussa.



Betonikivien latominen

Varsinainen kivien latominen aloitetaan yleensä kiinteästä rakenteesta. Betonikiveyksen tulee aina rajoittua kiinteään rakenteeseen, kuten reunatukeen, toiseen päällysteeseen, rakennuksen seinään tms., sillä rakenteen toiminnan kannalta on oleellista se, että päällysteen reuna-alueilla kivet saavat riittävän tuen liikennekuormituksen aiheuttamia vaakasuoria ja myös pystysuoria kuormituksia vastaan.

Kivien latominen tapahtuu aina valmiilta päällystepinnalta, jottei vaurioitetaisi valmiista asennushiekkakerrosta. Kivet ladotaan suunnitelman mukaiseen asennuskuvioon. Kivien väliin jätetään 2 mm:n saumavara. Nykyisissä kivissä on asennusnytyrät, jotka varmistavat vähintään 2 mm:n sauman. Sauman enimmäisleveys on 4 mm. Kohdat, joissa kiviä joudutaan katkomaan, tehdään yleensä jälkityönä.

Betonikivet ladotaan yleensä käsin. Suurehkojen kivipintojen asennus voidaan tehdä myös koneellisesti. Koneellisessa asennuksessa on käytettävä ko. asennustapaan soveltuvaa kivityyppejä ja ladontamallia.

Päällystekivien latomisen yhteydessä kannattaa seurata kivirivien ja saumojen suoruutta erityisesti kadun kulku-

suunnassa, sillä pienet virheet on helppo korjata vielä asennusvaiheessa. Asennustyö tulee suunnitella siten, että vältytään turhilta kivien leikkauksilta. Puolikaskiveä pienempää kiveä ei tulisi käyttää. Liittyessä kaareviin pintoihin, valaisinpylväisiin, kaivonkansiin ym. sekä seinien vierustoilla liittymä voidaan tehdä ns. sovitekivillä.

Betonikivien saumaus ja tiivistäminen täryttämällä

Kivien latomisen jälkeen päällystepinnalle levitetään rakeisuudeltaan 0/1 mm:n kuiva hiekka, joka harjataan saumoihin. Saumat täytetään mahdollisimman hyvin. Tarvittaessa voidaan käyttää myös vettä apuna. Saumauksen laadulla on erittäin suuri vaikutus päällysteen kantavuuteen ja toimintaan, sillä saumahiekan avulla syntyvällä kitkalla siirretään kuormituksia kiveltä toiselle kuormituksen liikkua päällysteellä. Saamaamattomalla betonikiveyksellä tulisikin välttää liikkumista ajoneuvoilla, koska se voi aiheuttaa päällysteen alku-urautumista.

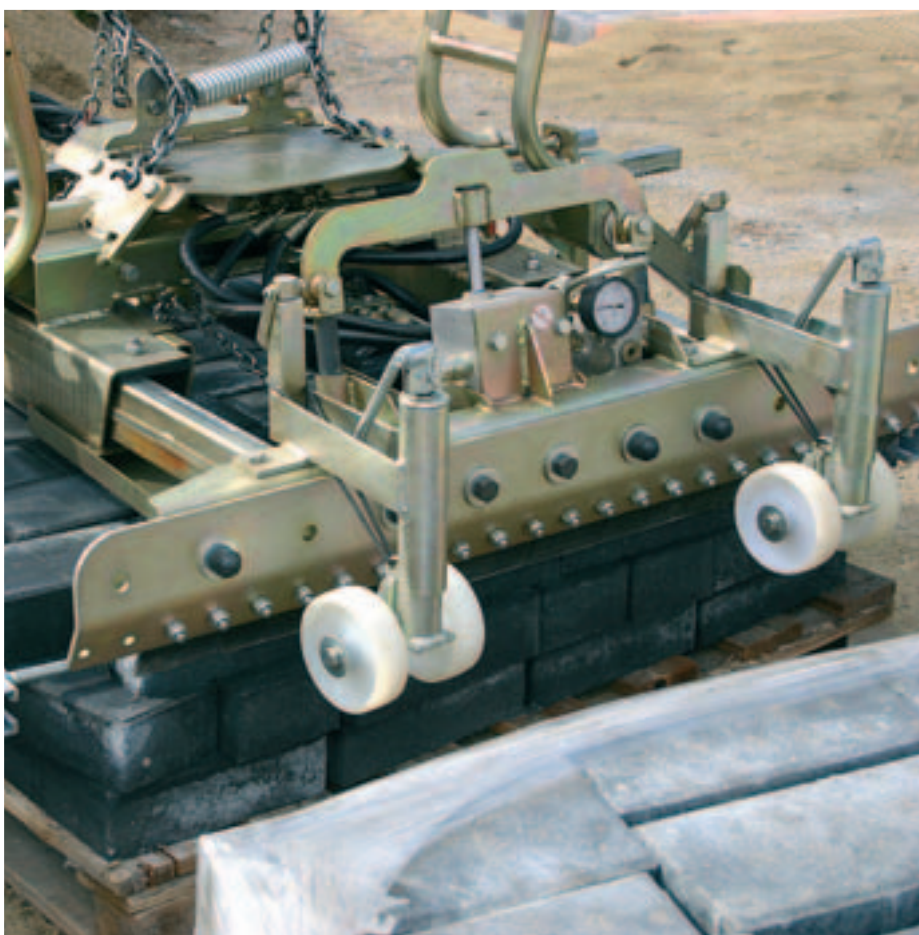
Saumauksen jälkeen betonikivipinta tiivistetään täryttämällä kevyehkällä täryttimellä (60-150 kg). Tärytettäessä asennushiekkakerros tiivistyy, asennushiekka nousee saumojen alaosaan, saumat tiivistyvät ja asennustyössä mah-

dollisesti jääneet pienet, kivien väliset korkeuserot tasoittuvat. Liiallista täryttämistä on kuitenkin vältettävä, jotta kivien kulmat eivät murru. Tärytyksen jälkeen saumat tulee vielä jälkitäyttää tarvittaessa.

Koneellinen asennus

Koneellinen asennus on Keski-Euroopassa yleisessä käytössä. Suomessa käytännössä lähes kaikki betonikivi- ja betonilaattapäällysteet asennetaan käsin. Asennuskoneita on alettu hankkia vasta aivan viime vuosina ja on oletettavaa, että koneellinen asennus lisääntyy myös Suomessa.

Koneellinen asennus soveltuu erityisesti suuriin, satoja tai tuhansia m² käsittäviin kohteisiin, joissa ladontakuviot on laajoilla, yhtenäisillä alueilla sama, sekä erilaisia kivityyppejä ja ladontamalleja on vähän. Tällaisia kohteita ovat tyypillisesti teollisuuden ja satamien varastoalueet, pysäköintialueet sekä kevyen liikenteen väylät. Koneasennusta on käytetty menestyksellisesti myös pienissä, säännöllisen muotoisissa, esim. 100 m²:n kohteissa, joissa asennuspohja on valmiiksi tehty koneen tullessa paikalle. Koneellisessa asennuksessa työsaavutukset ovat huomattavasti paremmat kuin käsin ladonnassa. Parhaimmillaan yhdellä



asennuskoneella, jossa työkuntana on asennuskoneen kuljettaja ja apumies, päästään 400-800 m²/työpäivä asennus nopeuteen. Asennusnopeus on noin 3-5 kertaa käsin asennusta nopeampaa. Suurissa kohteissa on mahdollista käyttää useita asennuskoneita samanaikaisesti. Nopeuden lisäksi koneellisen asennuksen etuna on työn oleellinen helpottuminen ja tätä kautta terveyshaittojen väheneminen.

Asennuskone on normaalisti alle 1000 kg painava ja nostokyyvyltään noin 400 kg:n pienkuormaaja, jossa on koneeseen helposti asennettava ja irrotettava asennuslaite. Toinen vaihtoehto on asennukseen tarkoitettu erikoiskone. Asennuslaitteella voidaan yhdellä kertaa asentaa vajaan neliömetrin suuruisen alue. Koneellisen asennuksen käytön edellytyksenä on, että päällystekivet on pakattu kuormalavalle asennuskuvion mukaan. Jos kivet asennetaan puolen kiven limityksellä, kone voi tehdä limityksen automaattisesti. Johtavilla päällystekivien valmistajilla on valmiudet toimittaa päällystekiviä määrättyillä ladontakuvioilla. Jotta koneellista asennusta voitaisiin täysimääräisesti hyödyntää, tulisi myös asennushiekan levityksessä käyttää koneellista levitystä ja tasausta. Asennushiekan levitykseen on kehitetty koneita ja käsikäyttöisiä palkkitasointimia.



Betonikiveyksellä viihtyisämpiä ajoalueita

Betonikiveysten käyttö ympäristöjen rakentamisessa on lisääntynyt viime vuosien aikana voimakkaasti. Betonikivien laajeneva tuotevalikoima luo yhä monipuolisempia mahdollisuuksia korkealaatuisten ja viihtyisien ympäristöjen luomiseen. Pihat, torit, kävelykadut, puistot, urheilu- ja vapaa-ajan alueet ovat jo tuttuja betonisten kiveysten käyttökohteita.

Keski-Euroopassa betonikiveyksiä on jo pitkään käytetty myös raskaan liikenteen alueilla. Katujen, parkkialueiden, bussiterminaalien, varastoalueiden ja huoltoasemien lisäksi satamien ja yhä useammin myös lentokenttien huolto-alueiden päällystämateriaaliksi valitaan betonikiveys.

Betonikeskus ry

Ympäristöbetoni
Unioninkatu 14
00130 Helsinki

www.betoni.com/raskasliikenne

ISBN 978-952-5075-84-7