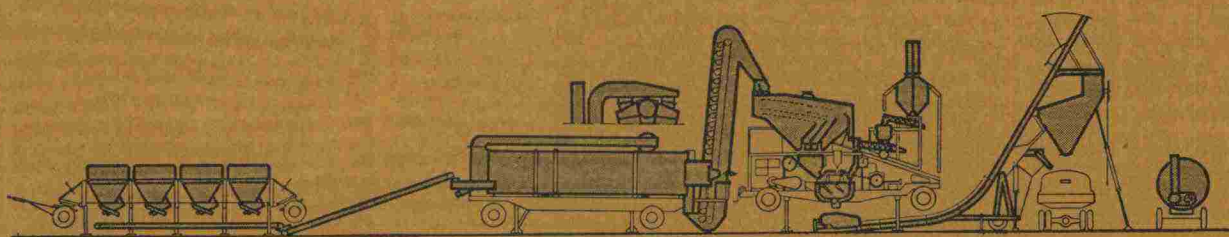


Vk

TIENPÄÄLLYSTYTEKNIikka

LASIASFALTTI



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
TIERAKENNUSTOIMISTO 1973

TVH 2.792 A4

08
TIE

Alkusanat

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voidaanko jätelasia käyttää meidän oloissamme hyväksi asfaltin valmistuksessa.

Tutkimuksen suorittamiseen antoi aiheen Yhdysvalloissa ja Kanadassa muutama vuosi sitten suoritettut lasiasfalttikokeilut. Suomessa lasiasfalttikokeita on suorittanut Riihimäen Lasi Oy.

Tutkimus suoritettiin kirjallisuustutkielmana.

Helsingissä 31.7.1972

Erkki Matilainen

Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto	2
2. Yhdysvalloissa suoritettut kokeet ja tutkimukset	3
2.1. Ohion koe	3
2.2. Missouri-Rolla-yliopiston tutkimus	4
2.21. Tutkimuksen tavoitteet	4
2.22. Ainekset	4
2.23. Kokeiden suoritusmenetelmät	7
2.24. Seoksen suunnittelu	7
2.25. Rapautumiskokeet	12
2.26. Vedenvastustuskokeet	14
2.27. Tulosten tarkastelu	15
2.28. Päätelmät	17
2.3. Albertan yliopiston tutkimus	18
3. Kanadassa suoritettut kokeet	21
4. Englannissa tehty selvitys	22
5. Suomessa suoritettut kokeet	23
6. Saadut tutkimustulokset ja niiden tarkastelu	25
7. Yhteenveto	27
8. Kirjallisuusluettelo	30

1. Johdanto

Lasiasfaltilla (glasphalt) tarkoitetaan asfalttia, jonka kiviaines tai osa siitä on korvattu jätelasilla. Jätelasina käytetään kertakäyttöpulloja ja muita lasisia käytöstä poistettuja astioita sekä sulatusuunien lasipitoista kuonaainesta.

Jätelasin käyttö asfaltin valmistuksessa on saanut alkunsa suurten kaupunkialueiden jätehuoltoon liittyvistä vaikeuksista. Jätelasi muodostaa erittäin huomattavan osan kaupunkialueilla syntyvistä vaikeasti hävitettävistä jätteistä. Tällaisten jätteiden käyttömahdollisuus kaupunkialueella on varsin rajoitettu, eikä niiden jatkuvasti kasvavien määrien varastointi kaupunkialueilla tule yleensä kysymykseen. Jätteet hävitetään tämän vuoksi yleensä kuljettamalla ne kaatopaikalle. Kun toisaalta kaupunkialueille tuodaan massoja kaupungin ulkopuolelta, saattaa eräissä tapauksissa olla taloudellista korvata näitä massoja kaupunkialueelta saatavalla jätelasilla. Tältä pohjalta on yleensä lähdetty tutkittaessa mahdollisuutta lasijätteen käyttämiseksi asfaltin valmistuksessa. Alan tutkimustoimintaa on suoritettu lähinnä Pohjois-Amerikassa.

Seuraavissa kappaleissa referoidaan Yhdysvalloissa, Kanadassa, Englannissa ja Suomessa tehtyjä lasiasfalttikokeita. Kokeiden referointi on esitetty niiden julkistamisjärjestyksessä.

2. Yhdysvalloissa suoritettut kokeet ja tutkimukset

2.1. Ohion koe

Missouri-Rolla-yliopistossa suoritettun tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko hyljättyjä lasiastioita käyttää hiekan, soran ja kivien asemesta päällysteiden tekemiseen. Tutkimus aloitettiin vuoden 1968 alkupuolella ja sen rahoitti Bureau of ^{Solid} Waste Management, U.S. Public Health Service. Missouri-Rolla-yliopiston kehittämän menetelmän mukaan lasiaines jauhetaan riittävän hienoksi renkaiden leikkautumisen estämiseksi, jonka jälkeen siihen sekoitetaan bitumi. Sekoittamisen jälkeen seos tiivistetään normaalisti alustalleen.

Johtava lasi-, muovi- ja paperipakkausten valmistaja Owens-Illinois suoritti yhdessä Missouri-Rolla-yliopiston kanssa Toledossa, Ohiossa lasiasfalttikokeen. Koealue on osa Owens-Illinois-yhtiön Toledossa sijaitsevan teknisen keskuksen pysäköintialuetta. Koealueen pituus oli 17,4 m ja leveys 5,4 m. Lasiasfalttikerroksen paksuus oli 5 cm. Lasia lasiasfalttiin kului n. 17 tonnia. Kokeeseen käytetty lasi hankittiin kolmesta paikasta. Osa lasista tuotiin Houstonista, Teksasista. Lasiastiat saatiin Michiganissa olevasta Charlotte-yhtiöstä. Osa lasista valmistettiin erityisesti koetta varten Owens-Illinoisin teknisessä keskuksessa. Koealueen valmisti Atlas Paving Co.

Ohion kokeen tuloksia ei oltu esitelty koetta käsittelevässä kirjoituksessa /1/. Owens-Illinois-yhtiön edustajan mukaan nykyiset kokeet osoittavat, että lasiaines suoriutuu yhtä

hyvin kuin sora, hiekka ja kivi perinteisessä päällysteessä. Missouri-Rolla-yliopistossa on lasiasfaltin tutkimista jatkettu lasiaineksen edullisimman rakeisuuden selvittämiseksi ja seoksen vedenvastustuskyvyn parantamiseksi. Tutkimusta johtaa apulaisprofessori tri Ward R. Malisch.

2.2. Missouri-Rolla-yliopiston tutkimus /2/

2.21. Tutkimuksen tavoitteet

Tässä tutkimuksessa selvitetään murskatun jätelasin käyttämistä kiviaineksen asemesta asfalttimassassa. Koska kirjallisuudesta ei löydetty varhaisempaa asiaa käsittelevää aineistoa, asetettiin seuraavat lähtötavoitteet:

1. Suunnitellaan tiheä asfalttimassa käyttäen lasiainesta, jonka tulee täyttää Asphalt Institute'n määrittelemän Marshallin suunnittelukriteerion.
2. Määritetään rapautumisen määrä, joka tapahtuu laboratoriossa sekoituksen, tiivistämisen ja kokeiden suorittamisen aikana.
3. Määritetään seoksen vedenvastustuskyky.

2.22. Ainekset

Kaikki tähän tutkimukseen käytetty kiviaines hankittiin murskaamalla jätelasista, joka koostui pääosaltaan kertakäyttöisistä olut- ja virvoitusjuomapulloista. Pullot pestiin aluksi kuumassa vedessä etikettien ja muiden vieraiden aineisten irrottamiseksi. Kuivaamisen jälkeen pullot murskattiin leuka-

murskaimella ja valssilla. Tämän jälkeen murskattu aines kuivaseulottiin yhdeksään erilaiseen lajitteeseen. Karkeimman lajitteen hiukkaskoko vaihteli alueella 0,95 - 1,27 cm. Hienoin lajite läpäisi seulan 0,074 mm. Pesuseulonta-analyysi suoritettiin kullekin lajitteelle ja sen tuloksia käytettiin lajitteita yhdistettäessä halutun rakeisuuden aikaansaamiseksi.

Murskattu aines sisälsi verraten paljon joko litteitä tai pitkänomaisia hiukkasia tai molempia lähes kaikissa lajitteissa. Karkeimmat lajitteet tutkittiin litteiden ja pitkänomaisten hiukkasten prosenttisen osuuden selvittämiseksi käyttäen Corps of Engineers-menetelmiä CRD-C 119-53 ja CRD-C 120-55. Jokainen näyte jaettiin edelleen, kunnes oli saatu noin 100-300 hiukkasta käsittävä näyte. Suurempia näytemääriä käytettiin pienemmille hiukkasille. Näiden hiukkasten pituus, leveys ja paksuus mitattiin ja hiukkaset luokiteltiin pituus-leveys- ja leveys-paksuussuhteiden mukaan. Litteän hiukkasen leveys-paksuussuhde oli ≥ 3 , kun taas pitkänomaisen hiukkasen pituus-leveysuhde oli ≥ 3 . Näiden hiukkasten mittaustulokset on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

seulakoko		hiukk. lukumäärä	% kussakin luokassa			
läpäisi seulan	jäi seulalle		litteitä	pitkänomaisia	litteitä ja pitkänom.	ei litteitä eikä pitkänomaisia
1,27 cm	0,95 cm	101	93	0	4	3
0,95 "	4,8 mm	117	48	3	2	47
4,8 mm	2,4 "	300	9	19	0	72
2,4 "	1,2 "	306	25	2	0	73
1,2 "	0,6 "	305	49	3	1	47

Taulukko 1. Laskettujen litteiden ja pitkänomaisten hiukkasten määrät.

hiukkaskoko (mikronia)	hienompaa ainesta %	hiukkaskoko (mikronia)	hienompaa ainesta %
74	100	20	17
60	82	10	6
40	50	5	2

Taulukko 2. Seulan 0,074 mm läpäisseen aineksen rakeisuus

Kuten oli odotettua lähes kaikki hiukkaset alueella 0,95 - 1,27 cm olivat litteitä, mutta litteiden ja pitkänomaisten hiukkasten prosentuaalinen määrä väheni, kun seula-aukon koko, jolle hiukkaset olivat jääneet, lähestyi pullojen seinämän paksuutta. Aineksessa, joka läpäisi seulan 1,2 mm, litteiden hiukkasten prosentuaalinen osuus alkoi kasvaa jälleen. Aineksen, joka läpäisi seulan 0,6 mm mikroskooppinen tarkastelu osoitti, että aineksessa on runsaasti litteitä ja pitkänomaisia hiukkasia.

Ominaispaino ja Los Angeles-kulutuskokeet (rakeisuus C) suoritettiin lasilla ja areometrianalyysi aineksella, joka läpäisi seulan 0,074 mm. Murskatun lasiaineksen ominaispainoarvo (bulk specific gravity) oli 2,50, imeytyminen (absorption) 0,01 % ja Los Angeles-kulutuskokeen häviö 41 %.

Käytetyn bitumin tunkeuma oli 85 - 100 ja sen oli valmistanut Shell Oil Company Länsi-Teksasin raakaöljystä. Bitumin ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

ominaisuus	arvo
ominaispaino $t = 15,6^{\circ}\text{C}$	1,011
tunkeuma $t = 25^{\circ}\text{C}$	92
viskositeetti, Saybolt Furo1 135°C :ssa, sek.	143,5
leimahdus, Clevelandin avoin astia, $^{\circ}\text{C}$	312,8
liukenevuus CCl_4 :ään, %	99,9
venyvyys, $t = 25^{\circ}\text{C}$, cm	150+

2.23. Kokeiden suoritusmenetelmät

Kokeet suoritettiin Marshall-menetelmän (ASTM D 1559) mukaisesti seuraavin poikkeuksin:

1. Välittömästi Hobart-mallin N-50-sekoittimessa tapahtuneen kaksi minuuttia kestäneen sekoittamisen jälkeen massa asetettiin tiivistysmuottiin, jonka jälkeen muotti asetettiin puoleksi tunniksi uuniin, jossa lämpötila oli 135°C . Tämän jälkeen massa tiivistettiin, kuten on määritelty ASTM-menetelmässä D 1559.
2. Ensimmäisen koeseossarjan näytteitä ei asetettu suoraan 60°C :een vesikylpyyn 30 minuutiksi ennen kokeen suorittamista, vaan ne asetettiin ensin muovipussiin ja vasta sen jälkeen vesikylpyyn. Tämä tehtiin sen vuoksi, että estetäisiin näytteiden hajoaminen (stripping), joka voisi muuttaa uutetun lasiaineksen mekaanisten analyysien tuloksia. Jonkin verran vuotoja tapahtui kuitenkin useimmissa pusseissa, josta syystä toisen koeseoksen sarjan kaikki näytteet asetettiin uuniin, jonka lämpötila oli 60°C kahdeksi tunniksi ennen kokeiden suorittamista. Sen jälkeen kun lujuuskokeet oli suoritettu, määritettiin bitumipitoisuus käyttäen takaisinvirtausuuttolaitetta (reflux extractor). Uutetun kiviaineksen mekaaninen analyysi suoritettiin käyttäen AASHO-menetelmää T 30.

2.24. Seoksen suunnittelu

Ensimmäisessä koeseoksessa käytetyn lasimurskeen rakeisuus (no 1) on esitetty taulukossa 4. Tämä rakeisuus on Goode'n ja Lufsey'n ehdottama maksimi tilavuuspainon saamiseksi ja se las-

ketaan vastaavuudesta:

$$p = \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \times 100,$$

jossa

p = läpäisyprosentti seulalla, jolla on d:n suuruinen aukko, tuumaa

D = kiviaineksen maksimikoko, tuumaa

0,45 = kokeellinen vakio

seulakoko	rakeisuus no 1 läpäisyprosentti	rakeisuus no 2 läpäisyprosentti
1,27 cm	100	100
0,95 "	88	88
4,8 mm	65	67
2,4 "	47	48
1,2 "	35	37
0,6 "	26	28
0,3 "	18	18
9,15 "	14	11
0,074 "	9,7	6,3

Taulukko 4. Lasimurskeiden rakeisuudet

On ymmärrettävää, että eksponentti 0,45 maksimi tilavuuspainolle pohjautuu kohtalaisen tasasuurille hiukkasille, eikä se siten anna suurinta arvoa litteille ja pitkänomaisille lasihiukkasille. Kuitenkin kaava otettiin lähtökohdaksi, mutta sitä muutettiin, kuten tullaan näkemään myöhemmin.

Valittiin kuusi bitumipitoisuutta 0,5 %:n porrastuksella välillä 4,5 - 7,0 % (kokonaispainosta) ja kutakin bitumipitoisuutta kohden tehtiin viisi näytettä. Kuusi näytettä tehtiin

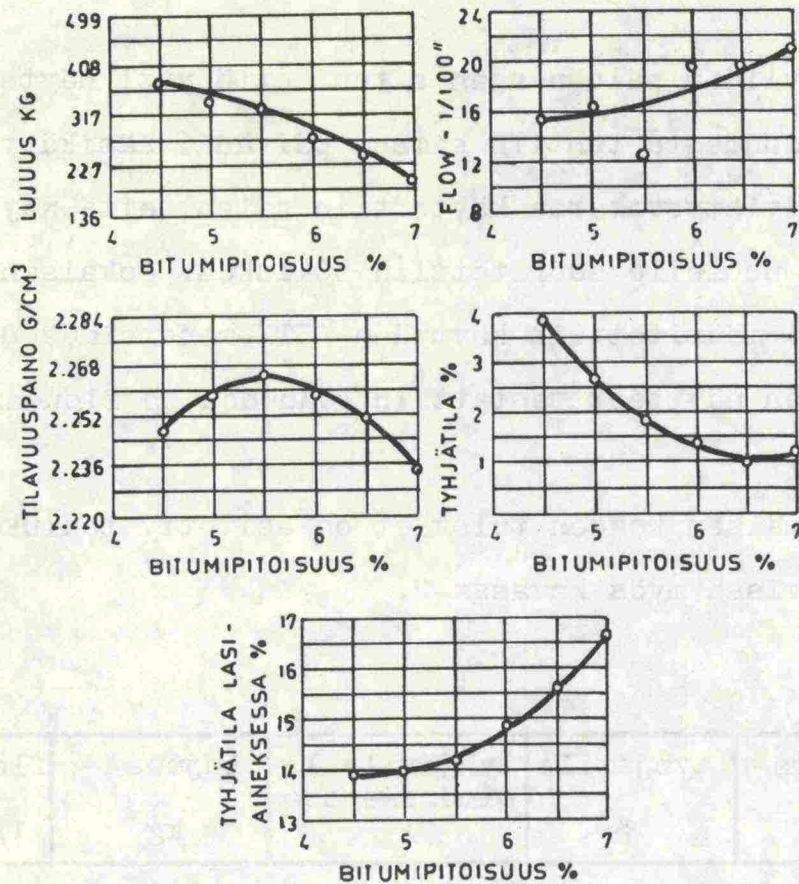
joka päivä viiden päivän ajan siten, että yksi näyte kustakin bitumipitoisuudesta tehtiin samana päivänä. Käsikäyttöistä Marshall-tiivistysvasaraa käytettiin siten, että näytteen kummallekin puolelle suoritettiin 50 iskua. Jokaisen näytteen tilavuuspaino määritettiin käyttäen ASTM-menetelmää D 2726-68 T, jonka jälkeen näytteet testattiin lujuuden ja flow-arvon saamiseksi.

Tämän ensimmäisen kokeen tulokset on esitetty taulukossa 5 ja ne on nähtävissä myös kuvassa 2.

bitumi-%	tilavuus- paino ₃ g/cm ³	tyhjätila %	tyhjätila la- simurskeessa %	lujuus kg	flow-arvo 1/100"
Ensimmäinen koeseos - lasimurskeen rakeisuus no 1					
4,5	2,247	3,88	13,89	372,0	15,8
5,0	2,258	2,67	13,95	337,5	16,4
5,5	2,263	1,82	14,14	330,7	12,6
6,0	2,257	1,37	14,85	270,3	19,4
6,5	2,250	0,98	15,59	243,1	19,4
7,0	2,234	1,14	16,61	194,6	20,8
Toinen koeseos - lasimurskeen rakeisuus no 2					
4,0	2,198	6,57	15,36	481,3	7,6
4,5	2,202	5,74	15,55	333,8	7,4
5,0	2,215	4,50	15,57	380,6	7,4
5,5	2,226	3,39	15,52	347,9	8,0
6,0	2,228	2,62	15,93	235,9	10,4
6,5	2,228	1,97	16,44	223,2	11,0

Huom. Kaikki arvot ovat viiden näytteen keskiarvoja

Taulukko 5. Marshall-kokeiden tulokset



Kuva 2. Ensimmäisen koeosoksen Marshall-kokeiden tulokset

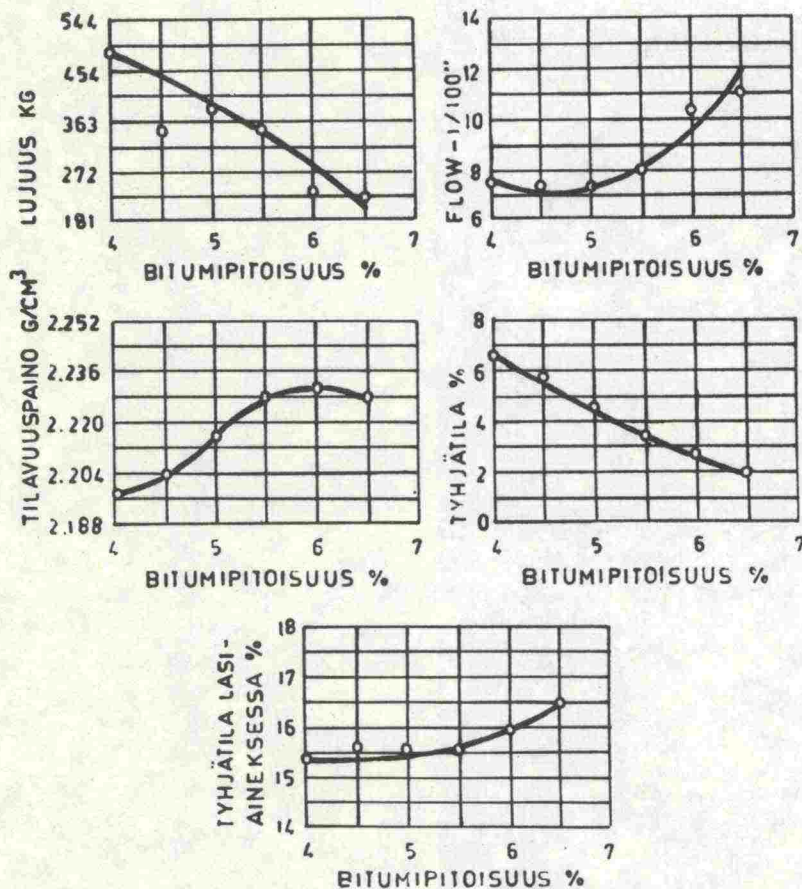
Kuten voidaan nähdä kuvan 2. käyristä, ei ole bitumipitoisuutta, joka täyttää taulukossa 6. esitetyn Asphalt Institutun ehdottaman suunnittelukriteerion.

koeominaisuus	minimi	maksimi
lujuus, kg	226,8	-
flow	8	18
tyhjätila päällysteessä	3	5
tyhjätila lasimurskeessa, maksimikoko 1,27 cm	15	-

Taulukko 6. Marshallin suunnittelukriteerio (keskiraskas liikenne, tiivistys 50 iskulla)

Lujuus ja flow-arvo ovat riittävät alemmilla bitumipitoisuuksilla, tyhjätila sen sijaan vain 4,5 %:n bitumipitoisuudella. Suunnitteluohjeiden vaatimusta lasimurskeen tyhjätilalle ei pystytty täyttämään kyseessä olevalla lasiaineksen rakeisuudella, joka antoi maksimi tilavuuspainon. Tämän vuoksi lasiaineksen rakeisuutta muutettiin.

Toinen näytteiden sarja tehtiin käyttäen lasimursketta, jonka rakeisuus (no 2) on esitetty taulukossa 4. Tällä aineksella oli pienemmät läpäisyprosentit seuloilla 0,15 ja 0,074 mm. Valittiin kuusi bitumipitoisuutta 0,5 %:n porrastuksella välillä 4,0 - 6,5 %. Kullakin bitumipitoisuudella tehtiin viisi näytettä käyttäen 50-kertaista Marshall-tiivistystä. Tämän toisen kokeen tulokset on annettu taulukossa 5 ja ne on esitetty myös kuvassa 3.



Kuva 3. Toisen koeseoksen Marshall-kokeiden käyrät

Vähentynyt hienoainespitoisuus aiheutti suuremmat tyhjätilarvot ja salli bitumipitoisuuksien valinnan siten, että seos täyttää kaikki Marshallin suunnittelukriteerion vaatimukset.

2.25. Rapautumiskokeet

Rapautumisalttiutta selvitettiin vertaamalla lasiaineksen rakeisuutta ennen massan sekoitusta ja tiivistystä massasta uutetun aineksen rakeisuuteen.

Koe suoritettiin siten, että molemmista koeseosten sarjoista valittiin yksi näyte viidestä edustamaan kutakin bitumipitoisuutta. Bitumi erotettiin näytteestä käyttäen takaisinvirtausuuttolaitetta (reflux extractor). Liuottimena käytettiin benseeniä. Pesuseulonta suoritettiin näin saadulle lasiainekselle AASHO-menetelmän T 30 mukaisesti. Rapautumiskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 7.

seula- koko	ei-tiiviste- tyn aineksen läp.-%	uutetun lasimurskeen läpäisyprosentit eri bitumipitoisuuksilla					
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
ens. koeseossarja		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1,27 cm	100	100	100	100	100	100	100
0,95 "	88	94	94	94	93	92	93
4,8 mm	65	68	68	69	67	67	66
2,4 "	47	49	49	49	49	48	47
1,2 "	35	35	36	35	35	34	34
0,6 "	26	26	26	26	27	23	25
0,3 "	18	18	18	18	19	18	18
0,15 "	14	14	14	14	14	13	14
0,074 "	9,7	9,0	9,3	8,7	8,9	8,8	9,5
Hudson \bar{A}	5,03	5,13	5,14	5,14	5,13	5,04	5,07
toinen koeseossarja		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
1,27 cm	100	100	100	100	100	100	100
0,95 "	88	95	95	94	94	93	92
4,8 mm	67	69	70	69	70	68	68
2,4 "	48	50	50	52	51	51	50
1,2 "	37	39	39	38	39	37	39
0,6 "	28	28	28	28	28	27	28
0,3 "	18	19	19	20	19	18	19
0,15 "	11	13	12	13	13	12	12
0,074 "	6,3	10,0	6,6	7,6	7,8	6,0	7,8
Hudson \bar{A}	5,03	5,23	5,20	5,22	5,22	5,12	5,16

Taulukko 7. Uutetun lasimurskeen seulantakokeiden tulokset

Taulukossa 7. esitetty ns. Hudson \bar{A} -luku, jonka muutosarvoja käytettiin rapautumisen suuruuden ilmaisemiseen on, sadasosa luvusta, joka saadaan laskemalla yhteen kymmenen Yhdysvalloissa käytössä olevan standardiseulan läpäisyprosentit alkaen 1,27 cm:n seulasta ja sisältäen seulan 0,074 mm. On huomattu, että asfalttibetonin kiviaineksilla, joilla \bar{A} tavallisesti vaihte-

lee välillä 4,00 - 6,00, 0,50:n muutos \bar{A} :n arvossa muuttaisi bitumivaatimusta noin yhdellä tilavuusprosentilla.

Ensimmäisen koeseoksen tulokset osoittavat, että vähäistä lasimurskeen rapautumista tapahtui. Epäsäännöllisyyttä ilmeni kuitenkin sen aineksen prosenteissa, joka läpäisi seulan 0,074 mm. Kuten nähdään taulukosta 7 seulan 0,074 mm läpäisyprosentti todellisuudessa pieneni näytteen sekoittamisen, tiivistämisen ja lujuuden koestamisen jälkeen. Tämän aineksen menetyksen on ajateltu aiheutuneen pinta-aineksen hajoamisesta ja irtautumisesta. On kuitenkin melko ilmeistä, että hyvin vähän uutta seulan 0,074 mm läpäisevää ainesta olisi muodostunut näytteiden sekoittamisen, kokeiden suorittamisen ja tiivistämisen aikana. Yleensä rapautuminen oli hyvin vähäistä, kuten Hudson \bar{A} :n muutokset osoittavat.

Rapautumista tapahtui enemmän toisessa koeseossarjassa.

Hudson \bar{A} lisääntyi niinkin paljon kuin 0,20 ja suurin prosentuaalinen lisääntyminen tapahtui seulan 0,074 mm kohdalla.

Se seikka, että ilmeni suurempia tyhjätila-arvoja, osoittaa, ettei massa ole ollut tehokkaasti tiivistävien iskujen kimmoisessa puristuksessa, josta on aiheutunut lisääntyvää hienoaineksen muodostumista.

2.26 Veden vastustuskokeet

Staattiset hajoamiskokeet (ASTM-menetelmä D 1664) suoritettiin useilla lasiaineksen ja bitumin kombinaatioilla. Hajoamista pantiin merkille lasin ja bitumin seoksella, johon ei oltu lisätty hajoamista estävää ainesta. Kuitenkin lasin ja joko hitaasti murtuvan kationisen emulsion tai sopivalla hajoamista

estävällä aineksella varustetun bitumin seoksella ei ilmennyt hajoamista. Yksi kuuden näytteen sarja, jossa oli käytetty rakeisuutta no 2 ja bitumipitoisuutta 5,5 %, tiivistettiin, jotta voitaisiin määrittää prosentuaalinen lujuuden häviäminen sen jälkeen kun näytteet oli upotettu 48,9°C:een veteen neljän päivän ajaksi. Hajoaminen oli kuitenkin niin suurta, ettei lujuuden koestaminen ollut mahdollista. Kokeet, jotka sisältävät bitumin ja useiden hajoamista estävien komponenttien käytön ovat kehitteillä.

2.27. Tulosten tarkastelu

Edellä esitetyt tiedot ovat osoittaneet, että seos, joka täyttää Marshallin suunnittelukriteerion, voidaan valmistaa käyttäen murskattua lasiainesta ja perinteellistä rakeisuutta. Seikka, että suuri osa hiukkasista oli litteitä tai pitkänomaisia, näyttää osoittavan, että Marshallin koemenetelmällä saadut lujuuden arvot saattavat olla todellisia arvoja huonompia (on the conservative side) hiukkasten suuntautumistaipumusten vuoksi. Puzinauskas huomasi sen, että seoksissa, jotka sisälsivät pitkänomaisia tai litteitä lasihiukkasia, lasihiukkaset pyrkivät sijoittumaan aksiaalisesti suuntaan, joka on kohtisuorassa tiivistävän voiman suuntaa vastaan. Tämä vaikutus havaittiin selvimmin näytteissä, jotka oli tiivistetty ajoittain iskevällä tiivistävällä voimalla, esimerkiksi Marshall-tiivistimellä. Testatut näytteet, joissa puristava voima oli yhdensuuntainen tiivistävän voiman kanssa, antoivat aina suurempia lujuuksia kuin näytteet, joissa tiivistävä voima oli ollut kohtisuorassa koestavaan voimaan nähden. Täten, koska näytteet koestettiin suunnassa joka oli kohtisuorassa tiivistämissuuntaa vastaan, ja koska näytteissä oli suuri määrä litteitä hiukka-

sia, on luultavaa, että Marshall-arvot ovat todellisia arvoja pienempiä.

Tiedot osoittavat myös, että lasimurskeen rapautuminen voi olla ongelma seoksissa, joiden rakeisuus poikkeaa maksimi tilavuuspainon antavasta rakeisuudesta. Saksalaisen tutkijan Herrman'in mukaan lasiaineksen murskaantuminen liikenteen alla riippuu rakeisuudesta (grading) siten, että maksimi tilavuuspainolla aiheutuu vähiten murskaantumista. Tämä ilmiö havaittiin myös tämän tutkimuksen kahdessa koeseoksessa, koska poikkeamien maksimi tilavuuspainon antavasta rakeisuudesta aiheutti suurta lisääntymistä seulan 0,074 mm läpäisseen aineksen määrässä. Määrää, johon saakka toisessa koeseoksessa havaittu rapautuminen huonontaisi seoksen ominaisuuksia, ei tunneta. Gooden'in ja Owings'in laboratoriossa ja rapautumisen kenttätutkimuksissa, jotka tapahtuivat karkealla asfalttibetonilla, hankkimaa aineistoa käytettiin Hudson \bar{A} :n muutossarjojen laskemiseen liittyen normaaliin ja liikenteen aiheuttamaan tiivistymiseen. Vaikka tätä muuttujaa ei oltu käytetty heidän tutkimuksessaan, siinä esitetyt tiedot sallivat sen käytön vertailujen tekemistä varten. Hudson \bar{A} -arvon lisääntyminen 0,25:lla, joka oli aiheutunut kentällä tapahtuvasta tiivistämisestä, sekä 0,39:llä, joka oli aiheutunut kentällä tapahtuneesta ja liikenteen aiheuttamasta tiivistämisestä, olivat molemmat riittämättömiä aiheuttaakseen päällysteiden käyttäytymisessä muutoksia. Nämä Hudson \bar{A} :n muutokset eivät kuitenkaan aiheuttaneet enempää kuin likipitäen prosentin lisäyksen seulan 0,074 mm läpäisseen aineksen määrässä.

Iskutyypin tiivistyksen käytöstä lasiainekselle on saattanut myös aiheutua enemmän rapautumista kuin mitä tapahtuisi kentällä suoritettavassa jyräyksessä.

2.28. Päätelmät

Laboratoriotutkimuksiin perustuen voidaan tehdä seuraavat päätelmät:

1. Murskatusta lasista voidaan valmistaa asfalttimassaa, joka täyttää Marshallin suunnittelukriteerion.
2. Jonkin verran lasiaineksen rapautumista tapahtuu laboratoriossa sekoittamisen tiivistämisen ja kokeiden suorittamisen aikana. Rapautuminen näyttää lisääntyvän, kun rakeisuus poikkeaa maksimi tilavuuspainon antavasta rakeisuudesta.
3. Suurta hajoamista (stripping) tapahtuu, kun lasiasfaltti, jossa ei ole lisäaineita, saatetaan $48,9^{\circ}\text{C}$:n veden vaikutuksen alaiseksi. Hajoamista tapahtuu myös bitumin ja lasin seoksilla, jotka koestetaan ASTM:n staattisessa hajoituskokeessa (ASTM-menetelmä D 1664).
4. Lasiaineksen ja bitumin seokset, jotka on käsitelty hajoamista estävällä aineksella, eivät hajoa staattisessa hajoituskokeessa (ASTM-menetelmä D 1664). Lasiaineksen ja hitaasti asettuvan kationisen emulsion seokset ovat myös hajoamattomia ko. kokeessa.

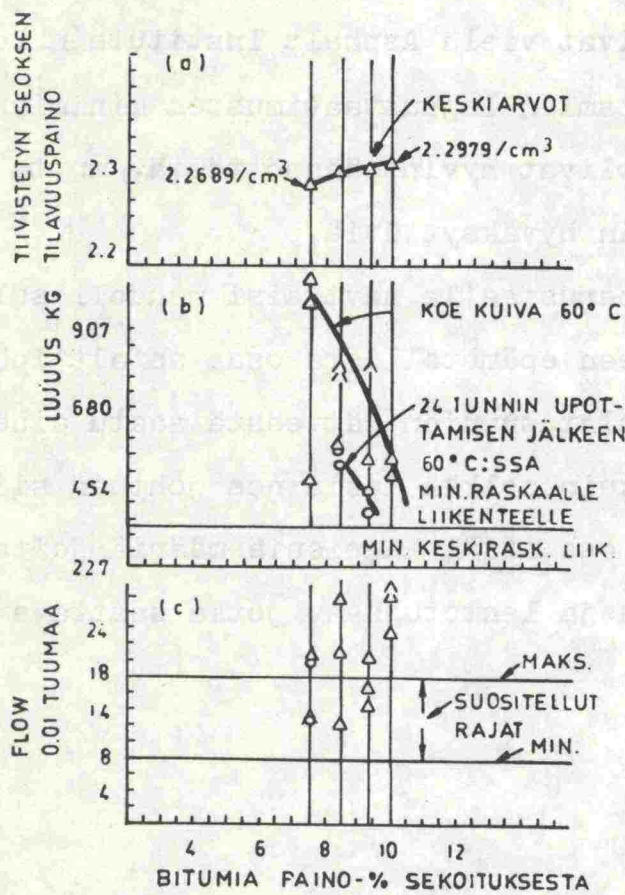
Lasiasfalttiseosten vedenvastustuskyvyn lisätutkimuksia, joihin sisältyy upotuskokeet, on suunniteltu. Lisäksi on suunniteltu koealuetta niiden seikkojen selvittämiseksi, jotka on vaikea määrittää pelkästään laboratorioskokein. Näiden kokeiden tarkoituksena on selvittää mm. seoksen levitettävyyden ja tiivistettävyyden, kitka-arvot, renkaita kuluttava vaikutus ja pinnan heijastavat ominaisuudet.

2.3. Albertan yliopiston tutkimus

Albertan yliopistossa suoritettu tutkimus käsitteli useiden kaupunkijätteidien muuntamismahdollisuuksia käyttökelpoisiksi tuotteiksi. Tutkimuksessa käsiteltiin myös sulatetun jätteen epämetallisen osan mahdollista käyttöä kiviaineksen asemesta asfalttibetonissa.

Kokeiden suunnittelu perustui standardisoituihin suunnitteluohjeisiin, jotka noudattivat ASTM-menetelmää D 1559, mutta niitä muutettiin siten, että ne sisälsivät veden vaikutuksesta aiheutuneen lujuuden menetyksen mittauksen.

Sulatetun jätteen epämetallinen osa, jonka määrä laskettiin n. 65 %:ksi kokonaismäärästä, murskattiin, jonka jälkeen saatu aines jaettiin seitsemään lajitteeseen. Lajitteet yhdistettiin tämän jälkeen Asphalt Institute'n tyyppiä IVb rakeisuusdeltaan vastaavaksi. Sideaineena käytettiin bitumia, jonka tunkeuma oli 200-300 ilman lisäaineita. Seos tiivistettiin mekaanisesti iskemällä 50 kertaa puolelleen viskositeettiin perustuvassa suositeltavassa lämpötilassa. Lujuuden ja flow:n lähtöarvot määritettiin näytteistä, jotka oli asetettu 60°C:een ilmavirtaukseen, ja vertailuarvot näytteistä, joita oli liotettu 60°C:ssa vedessä 24 tuntia. Saadut tulokset on nähtävissä kuvassa 4.



Kuva 4. Tulokset asfalttimassalla suoritetuista kokeista, joissa oli käytetty epämetallista sulatusuunijätettä kviviaineiden asemesta

Vaikka kokeita suoritettiin riittämättömästi, jotta tämän seoksen optimi olosuhteet olisi voitu selvittää, oli ilmeistä, että yllättävän suuria lujuusarvoja voitiin hankkia upottamisvaiheen jälkeenkin. Vaikka lujuusarvot olivat 69 % ja 59 %, 9 %:n ja 10 %:n bitumisarjoille ja alle hyväksytyyn minimiarvon 75 %, absoluuttiset arvot olivat vielä Asphalt Institute'n keskiraskaalle liikenteelle ehdottamien lujuusvaatimusten minimiarvojen yläpuolella. Flow-arvot olivat hyvin säännöttömiä, mutta muutamat arvot olivat kuitenkin hyväksyttäviä.

Kokeiden tulosten perusteella näyttäisi mahdolliselta käyttää sulatusuunien jätteen epämetallista osaa asfalttipäällysteen valmistamisessa. Sulatusuunien jätteestä saatu aines kestää hajoamista paremmin kuin pelkkä lasiaines johtuen siitä, että jätteen epämetallinen osa sisältää pieniä määriä joitakin metalleja, posliinia, kalliota ja lentotuhkaa, jotka saattavat lisätä hajoamiskestävyyttä.

3. Kanadassa suoritettut kokeet

Kanadan ensimmäinen lasiasfalttikokeilu suoritettiin Scarboroughissa Ontariossa lokakuussa 1970. Huolimatta Britain's Ministry of Transport Road Research Laboratory'n epäilevästä suhtautumisesta kokeita jätelasin käyttämiseksi tienpäällystämiseen jatkettiin. Toinen lasiasfalttikokeilu järjestettiin Burnabyssa. Kokeilun suoritti Canadian Glass Container Council-yhtiö yhdessä District Municipal Council and Dominion Glass Co Ltd:n kanssa. Koealueen rakentamisen suoritti Columbia Bitulithic-yhtiö.

Burnabyn koealue on osa Royal Oak Avenue'ta, jolla liikennemäärä on noin 1500 ajon./vrk. Koealueen pituus on 200 m ja leveys 6 m. Vertailujen tekemistä varten päällystettiin samalla tieosalla toinen tienpätkä normaalilla asfalttibetonilla. Koealue vaati noin 117 tonnia lasiasfalttia, josta suunnilleen 80 tonnia oli lasimursketta. Lasimurske oli saatu murskaamalla noin 320 000 virvoitusjuomapulloa. Suurimmat päällysteeseen käytetyt lasihiukkaset olivat läpimitaltaan noin 1,3 cm ja pienimmät pölyhiukkasten kokoisia. Päällystekokeet suoritti British Columbia Department of Highways.

Scarborough'in kokeen tuloksia ei oltu julkaistu lasiasfalttikokeiluja käsittelevässä kirjoituksessa /3/, samoin kuin ei myöskään Burnabyn kokeen tuloksia. Canadian Glass Container Council'in vastaava johtaja H. Elliot Dalton sanoi esikokeiden tulosten osoittavan, että lasiasfaltilla on hyvät kitkaominaisuudet ja että tulokset eivät osoittaneet raskaalle liikenteelle aiheutetun minkäänlaisia haittoja.

4. Englannissa tehty selvitys

Englannissa ei lasimurskeen käyttö tierakenteisiin ole saanut kannatusta johtuen lähinnä siitä, että maassa on vielä runsaasti saatavana luonnonkiviainesta ja lasiaineksen käyttäminen tienrakennusaineena vaatisi parlamentin säätämän lain brittiläisten teiden rakenteen muuttamiseksi. Pieniä lasimurskemääriä on Englannissa kuitenkin käytetty päällysteiden pinnan karkeuttamiseen ja koristamiseen. Karkeutukseen käytettävä lasiaines on jauhettu talkkihiukkasten kokoiseksi jauheeksi, jonka jälkeen lasijauhe on levitetty päällysteen pinnalle. Jauhe on tunkeuduttuaan bitumiinseen pintaan parantunut sen kitka-arvoa. Renkaiden valmistajien suorittamien kokeiden mukaan ei lasiaines ole vaikuttanut renkaiden kulumista lisäävästi /4/.

5. Suomessa suoritettut kokeet

Maassamme on Riihimäen Lasi Oy suorittanut lasi-bitumiseosten ominaisuuksien tutkimista. Tutkimukset ovat saaneet alkunsa Kanadassa, USA:ssa ja Englannissa suoritetuista kokeista.

Riihimäen Lasin edustajan diplomi-insinööri Hannu Jokisen mukaan jätelasin käyttö kytkeytyy meillä voimakkaasti saasteongelmaan. Jätelasia voidaan Jokisen mukaan käyttää uuden lasin valmistamiseen, mutta vaikeutena on tällöin se, että jätelasi pitäisi lajitella pakkauslajin viiteen värisävyyn, jota ei tarvitsisi tehdä käytettäessä jätelasi lasiasfaltin valmistamiseen.

Tutkimuksia varten on Riihimäen Lasi Oy rakentanut kaksi koealuetta. Toisessa koealueessa on asfaltissa normaalisti viskositeetin säätäjänä toimiva kalkkikivijauhe korvattu erittäin hienoksi jauhetulla lasiaineella. Lasia on tällöin käytetty kuusi prosenttia koko asfalttimassan painosta. Toisessa koealueessa on lasia käytetty seokseen noin 30 prosenttia massan painosta. Tällä alueella lasi korvaa kiviaineksen. Lasinsirut ovat kooltaan 25 mm tai sitä pienempiä. Lasi sekoitetaan asfalttimassaan valmistusvaiheessa. Massan levittämisen jälkeen pinta jyrättiin normaaliin tapaan.

Jokisen mukaan lasiasfaltilla saattaa olla liikenneturvallisuutta parantava vaikutus, koska lasiasfaltti on normaalia päällystettä vaaleampaa. Asfalttimassa voidaan Jokisen mukaan myös värjätä lasilla, jolloin värillisellä asfaltilla voidaan vaarallisiin risteyksiin ja kaarteisiin saada kiinnitetyksi enemmän huomiota kuin liikennemerkkejä käytettäessä. Myös suojaiteiden maalauskuksannuksissa katsotaan voitavan säästää, jos tien pinnasta jatkuvasti irtoava maali voitaisiin korvata pysyvällä lasiasfaltilla.

Riihimäen Lasi Oy:n suorittamissa kokeissa ei ole päästy vielä varsinaisiin tulosvaiheisiin /5/.

6. Saadut tutkimustulokset ja niiden tarkastelu

Edellä kuvattujen kokeiden ja tutkimusten pääasiallisena tarkoituksena on ollut selvittää mahdollisuus käyttää lasiainesta kiviaineksen asemesta päällystemassan tekemiseen. Vaikka kokeita on suoritettu varsin runsaasti, on koetulosaaineisto erittäin niukka. Varsinaiset koetulokset puuttuvat Owens-Illinois'in Ohiossa suorittamasta kokeesta sekä Kanadassa, Englannissa ja Suomessa suoritetuista kokeista. Perusteellisemmin asiaa on käsitelty Missouri-Rolla-yliopistossa Yhdysvalloissa suoritetussa tutkimuksessa. Missouri-Rolla-yliopistossa suoritettu tutkimus osoitti, että lasiaineksesta ja bitumista voidaan suunnitella Marshallin suunnittelukriteerion täyttävä päällystemassa. Tutkimuksen mukaan ei ko. kriteerion täyttävä massa ole kuitenkaan rakeisuudeltaan sellainen, että massan tilavuuspaino tulisi suurimmaksi mahdolliseksi. Suoritetussa rapautumiskokeessa massaan käytetty lasiaines rapautui kuitenkin runsaasti ja vedenvastustuskokeessa massa hajosi niin, ettei sen lujuuden koestaminen ollut enää mahdollista. Määrää, johon saakka rapautuminen huonontaa seoksen ominaisuuksia ei ole selvitetty. Rakeisuudeltaan vastaa tutkimuksessa käytetty lasiaines (no 2) meidän asfalttipäällystenormeissämme esitettyä asfalttibetonia Ab 12. Ainoastaan läpäisyprosentti seulan 0,074 mm kohdalla on hieman pienempi kuin mitä Ab 12:n ohjealue edellyttäisi. Tutkimuksessa saadut lujuus-arvot ovat huomattavasti pienempiä kuin mitä Ab 12 massasta tehdyille koekappaleille yleensä saadaan osoittaen siten lasiaineksen huonomman lujuuden. Myös Los Angeles-kulutuskokeessa saatu häviö 41 % on huomattavasti suurempi kuin mitä sallitaan päällysteisiin käytettävälle kiviainekselle asfalttipäällystenormeissa. Lasiaineksen ominaispaino 2,50 on hieman pienempi kuin meillä päällysteisiin käytettävän

kiviaineksen ominaispaino.

Albertan yliopistossa suoritettu tutkimus osoitti lasiaineksel-
la, jonka seassa on joitakin metalleja, posliinia, kalliota
yms. aineksia, saatavan parempia lujuusarvoja ja hajoamista
kestävämpiä koekappaleita kuin pelkällä lasiaineksella.

Lisätutkimusten suorittamisen tarpeellisuutta korostettiin sekä
Missouri-Rolla-yliopistossa että Albertan yliopistossa suorite-
tuissa tutkimuksissa.

7. Yhteenveto

Tässä yhteydessä referoidut tutkimukset osoittavat, että:

- jätelasia käyttäen voidaan suunnitella Marshallin vaatimukset täyttävä päällyste
- jätelasia käyttämällä saadaan aikaan päällyste, jolla on normaalia päällystettä parempi kitka-arvo
- jätelasia käyttäen tehty päällyste on vaaleampaa kuin tavallinen päällyste ja päällyste voidaan värjätä käytettäessä värillistä lasiainesta

Jotta lasijätteen käyttö asfaltissa tulisi kyseeseen, sen olisi täytettävä toinen seuraavista vaatimusryhmistä:

- kiviaineksen korvaaminen lasijätteellä on taloudellisesti edullista ja lasiasfaltti täyttää päällysteelle asetetut minimivaatimukset
- lasijätteen käytöllä asfaltissa saavutetaan edullisia teknisiä ominaisuuksia halvemmalla kuin nykyään käytettävillä menetelmillä eikä lasijätteen käytöstä muutoin aiheudu haittaa

Edellä referoiduissa tutkimuksissa ei ole esitetty taloudellisia selvityksiä, joista kävisi ilmi jätelasin edullisuus kiviainekseen nähden. Joissakin miljoonakaupungeissa, kuten esim. Lontoo, New York jne, saattaa olla kannattavampaa käyttää lasiainesta kiviaineksen asemesta. Maamme kaupunkien pienen koon ja kiviainesten hyvän saatavuuden huomioon ottaen on erittäin todennäköistä, ettei päällysteisiin käytettävän kiviaineksen, jonka kuutiometrihinta sekoitusasemapaikalla on Helsingin ympäristössäkin n. 7-12 mk, korvaaminen lasiaineksella ole taloudellisesti kannattavaa. Toisaalta, jotta lasijätteen käyttö asfaltissa tulisi kyseeseen, lasiasfaltin tulisi täyttää päällysteelle asetetut minimivaatimukset. Lasiasfaltti ei edellä esitettyjen tutkimusten tulosten mukaan

täytä päällysteille asfalttinormeissa asetettuja vaatimuksia. Tutkimustulosten mukaan lasiasfaltti, joka täytti Marshallin vaatimukset, hajosi, sen jälkeen kun näytteitä oli säilytetty 50°C:ssa vedessä neljän päivän ajan, niin voimakkaasti, ettei sen lujuuden koestaminen ollut mahdollista. Lämpötila, jossa hajoaminen tapahtui, vastaa melko hyvin kesällä esiintyvää tienpinnan lämpötilaa, joten lasiasfaltin hajoaminen saattaisi olla varsin huomattavaa kesäisen ukkossateen aikana. Lasiasfaltin normaalia päällystettä huonomman laadun ja kulutuskestävyyden sekä sen käytöstä johtuvien mahdollisten muiden haittojen (renkaiden suuri kuluminen ja mahdollinen puhkeaminen, irtoavien lasinsirujen aiheuttamat terveydelliset menetykset jne.) vuoksi tulisi lasiasfaltin olla huomattavasti normaalia päällystettä halvempaa, jotta sen käyttö olisi taloudellisesti perusteltavissa.

Lasijätteen käytöllä asfaltissa saavutettavista eduista lienee tärkein päällysteen pinnan kitkakertoimen suureneminen. On kuitenkin jossakin määrin arvelluttavaa ryhtyä käyttämään päällysteiden pinnan karkeuttamiseen ainesta, jota perinteisesti pidetään yhtenä renkaita pahimmin vaurioittavana aineksena. On myös todennäköistä, että nykyiset päällysteen pinnan karkeuttamiseen käytetyt ainekset ovat halvempia kuin jätelasista keräämällä, pesemällä ja murskaamalla saatava aines. Jätelasin käytölle muihin tarkoituksiin kuin päällysteen pinnan kitkakertoimen suurentamiseen ovat esteenä samat tekijät, kuin mitkä on edellä mainittu pinnan kitkakertoimen suurentamisen yhteydessä.

Eräänä lasiaineksen käyttöä asfalttipäällysteissä rajoittavana tekijänä voidaan vielä mainita lasiaineksen vähäinen tarjonta. Teiden ja katujen päällysteiden rakentamiseen ja kunnossapitämiseen käytettävät kiviainesmäärät ovat siksi suuria, ettei vähäisestä lasiainesmäärästä voida katsoa olevan mitään hyötyä.

Ympäristönsuojelun kannalta lasijätteen hävittäminen suurkaupungeissa saattaa olla melkoinen ongelma. Meillä tällaista ongelmaa on tuskin tiedostettu kaupunkiemme pienen koon ja niissä yleensä hyvin järjestetyn jätehuollon ansiosta. Lasijätteen hävittämistä käyttämällä se raaka-aineena päällysteiden tekemiseen ei voida pitää ympäristönsuojeluna, koska jätelasista aiheutuvat haitat voidaan tällöin kokea suuremmiksi kuin siinä tapauksessa, että se on ajettu kaatopaikalle. Jätelasin käyttämiseksi ympäristönsuojelun huomioon ottaen tulisikin koettaa löytää uusia menettelytapoja. Jätelasin uudelleen käyttö lasinvalmistuksessa, jätelasin käyttö maantäytteenä, lasilaatujen kehittäminen sellaiseksi, että ne hajoavat vuosien kuluessa maahan jouduttuaan jne. saattavat olla mielekkäitä jätelasin hävittämistapoja ympäristönsuojelun kannalta.

Edellä esitetyn perusteella voidaan katsoa ettei lasiaineksen käyttöön asfalttipäällysteissä näytä maassamme nykyään olevan riittäviä edellytyksiä.

Kirjallisuusluettelo

- /1/ Glass capital of world gets street of glass, asphalt.
National Glass Budget vol 85 - no 27, Pittsburgh 1969.
- /2/ Malisch W.R., Day D.E., Wixon B.G., Use of domestic
waste glass as aggregate in bituminous concrete.
Highway Research Record no 307, Washington 1970.
- /3/ Glasphalt tested by Canadian Glass Container Council.
Glass October 1971.
- /4/ Turkheim, H.E., Cullet, an essential raw material
in today's economy.
Glass December 1971.
- /5/ Pokkinen J., Jauhetusta jätelasista ja asfaltista
tienpinta.
Uusi Suomi 25.2.1972.

ISBN 951 - 46 - 0101 - 7

72-2788/Kr342