

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

SEERIA A

Nr. 35

1951

---

R. AMBROS JA A. PRIKK

# EESTI NSV MAANTEEDE KRUUSKATTED JA NENDE TÖÖTLEMINE BITUUMENIGA

---

С РЕЗЮМЕ

ГРАВИЙНЫЕ И ОБРАБОТАННЫЕ  
БИТУМОМ ПОКРЫТИЯ АВТОГУЖЕВЫХ  
ДОРОГ ЭСТОНСКОЙ ССР



EESTI RIIKLICK KIRJASTUS  
TALLINN 1951



E.P. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

SEERIA A

Nr. 35

1951

R. AMBROS JA A. PRIKK

# EESTI NSV MAANTEEDE KRUUSKATTED JA NENDE TÖÖTLEMINE BITUUMENIGA

С РЕЗЮМЕ.

ГРАВИЙНЫЕ И ОБРАБОТАННЫЕ  
БИТУМОМ ПОКРЫТИЯ АВТОГУЖЕВЫХ  
ДОРОГ ЭСТОНСКОЙ ССР



EESTI RIIKLICK KIRJASTUS  
TALLINN 1951



## EESSÖNA.

NSV Liidu kogu teedemajanduse tähtsamaid ülesandeid on kruuskattega teede ehitamise edendamine.

Niisama tähtsaks ülesandeks teedeasjanduse tehnikale on kohalike loodusvarade ratsionaalne ärakasutamine kandvate ja ilmastikukindlate teekatete ehitamisel, sest teede ehitamise materjalide tootmisest ja transpordist sõltub teede ehitushind.

Teedeasjanduse eriteadlased on püüdnud lahendada kruusa koostise küsimust sel teel, et on andnud üldised juhendid kattematerjali koostamiseks, jättes aga tähele panemata kohalikud geograafilised ja klimaatilised tingimused.

Käesoleva tööga on analüüsimise teel püütud konkreetselt lahendada kruusateede ehitamise ja korras hoiu küsimust Eesti NSV-s, samaaegselt täiendades sellega NSV Liidu üldisi juhendeid ja pakkudes metoodilist eeskuju selle küsimuse lahendamiseks teistes vennavabariikides.

Tõuseb aga koormus kruusateedel nende kohta püstitatud normidest kõrgemale, võib selles teoses soovitatud viisil ehitatud kruusateedelt jätkjärguliselt üle minna poolpermanentsetele katetele, milleks raamatus on ära toodud vastavad juhendid.

Raamat on mõeldud kasutamiseks maanteeala töötajatele ja õpperaamatuna Tallinna Polütehnilise Instituudi ehitusteaduskonna üliõpilastele.

Raamatu VIII peatüki on kirjutanud Eesti NSV Siseministeeriumi Maanteede Valitsuse vaneminsener dispetser A. Prikk 1949. a. novembris. Muu osa autoriks on TPI Teede ja vesiehitiste kateedri dotsent, tehniliste teaduste kandidaat R. Ambros ja osaliseks kaastöötajaks A. Prikk.

## SISSEJUHATUS.

Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsiooni 28. aastapäeval ütles sm. V. M. Molotov Moskva Linna Nõukogu pidulikul koosolekul 6. nov. 1945. a. järgmist:

"Meie maa on üle läinud rahulikule ülesehitustööle. Kogu rahvale on esile kerkinud uued grandioosased ülesanded."

Need suured ülesanded väljenduvad neis arvudes, millised on välja töötatud parti ja valitsuse poolt rahvamajanduse taastamise ja arendamise plaanides.

Rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaanid on alati olnud oma mahult grandioosed ja mõttelt julged. Need iseloomustavad joonel leiavad veel julgemat väljendust tulevastes viisaastakuplaanides ja nende teostamine on võimalik ainult meie kodumaal, tänu Suurele Sotsialistlikule Oktoobrirevolutsioonile.

Neljanda viisaastakuplaani täitmisega kasvab meie kodumaa majanduslik jõukus; tema kaubakäive suureneb aastast aastasse. Kaubakäive omakorda tingib transpordivahendite suurendamist ja viimane jällegi heade teede olemasolu.

Orienteerivate andmete alusel suurennes kaubakäive 1950. aastaks, võrreldes 1950. aastaga kolmekordseks. Seoses sellega oli NSV Liidu viisaastakuplaani võetud suured kapitaalmahutuste summad nii transporthahendite kui ka autoteede ehitamise alal.

Partei ja valitsus, hinnates kõrgelt teeadejanduse osatähtsust mitte üksnes majanduse, vaid ka riigi julgeoleku seisukohalt, nõuavad teede ehitajalt suurt kiirust ja töö head kvaliteeti. Vastavalt autoteede ehitusperspektiividele oli viisaastakuplaanis ette nähtud NSV Liidu administratiiv- ja tööstuskeskuste ühendamine esmaklassiliste automagistraalidega, tähtsamate segaliiklusega maanteede rekonstrueerimine ja jõuvankritepargi tunduv suurendamine. Autoteede tehnilist taset tööstetakse sellega, et vastavalt viisaastakuplaanile suurendatakse asfaltkatete pikkust automagistraalidel kümnekordset ja kaetakse ehitatavate teede üldpikkusest veerand tsementbelooniga. Sõiduautode arvutuskiirust suurendatakse 140 km-ni tunnis ja veoautode kandejõudu 7 tonnini. Edasi tööstetakse praegu ekspluateeritavate autoteede heaolutingimusi maksimaalsuse piirini. Teeäred kaunistatakse

ilupuudega; teedele luuakse arhitektooniliselt kooskõlastatud teepäraldiste süsteem.

Autotransport arenes NSV Liidus eriti hoogsalt Suure Isamaasõja ajal, kuid sõjajärgseil aastail tõuseb see kasvutempo veelgi tunduvamalt. Kahjuks aga ei suuda meie praegune autoteede võrk ei oma ulatuselt ega katte seisukorra ja tee elementide poolest täielikult rahuldada kasvavat jõuvankrite liiklust, mistõttu teede rekonstrueerimine ning ümberehitamine on vajalik ja õigustatud.

Akadeemik V. H. Obrostsovi andmeil<sup>1</sup> saavutatakse maanteeel, mille ehitushind võrdub 200 000 rbl/km, transpordikulude kokuhoidu 30 kop. igalt tonn-kilomeetrilt ja liiklemisel jõuvankritega kruusateedel, mille ehitushinnaks on võetud 60 000 rbl/km, on liiklemise vähemkulu 10 kop. tonn-km-lt.

Samadel andmetel oli NSV Liidu veokäive 1937. a. 10 miljardit tonn-kilomeetrit, millest järeltub, et heade teede puudumine toob NSV Liidu rahvamajandusele aastas enamkulu 3 miljardit rubla. Kui aga näiteks autotransporti suurendataks lähema viie aasta kestel, vörreldes 1937. aastaga, kahekordseks, siis kasvaks samavõrdsest ka jõuvankrite ekspluatatsiooni enamkulu. Üleminenul kas või ainult headele kruusateedele saavutatakse rahvamajanduskulude kokuhoidu sellega juba vähemalt üks miljard rubla.

Seadusega Eesti NSV rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaani kohta 1946.—1950. a. oli meil ette nähtud:

„Autotranspordi alal.

Tõsta Eesti NSV Autotranspordi Peavalitsuse autotranspordi poolt teostatav kaubavedu 1950. a-ks 1,1 milj. tonnini ja veokäive 33 milj. tonn-km-ni, ületades 1945. a. vedude taseme neli ja pool korda.

Parandada autode kasutamist ja nende tehnilist teenindamist; igati vähendada autode seisuga ja tühjaltsõite.

Arendada 1950. a-ks korrapärane autobuseliiklus 119 liinil, suurendades reisijate vedu vörreldes 1945. a-ga 12 korda.

Veoautode arv viisaastaku lõpuks kolmekordistada ja autobuste arvu suurendada 3 korda vörreldes 1945. a-ga.

Ehitada viisaastaku jooksul autoremondi-baasid Tallinnas 1000 kapi-taalaremondi jaoks) ja Tartus, samuti garaažid töökodadega Paides, Rakveres ja Viljandis.

Teede ehituse alal seada vabariiklikud ja eriti kohalikud maanteed eeskujulikku korda ja taastada kõik sillad. Laiendada teede-ehituse mehhaniiserimist.“

Kõik need, ehkki ainult osaliselt loetletud ülesanded nõuavad kõikjal heade teede olemasolu. Eesti NSV rahvamajanduse üldhuvides on, et maanteede ehitamisega liiklusvahendite korras hoiu kulud oleksid viidud miinimumini, liikluskiirus ja liiklusjulgeolek aga maksimumini. Seejuures maantee ehitamine ja korrastamine peavad eelnema kõigile teistele majanduse ülesehitustöödele, et kindlustada viimasele odavat transpordi ja häireteta liiklust.

<sup>1</sup> NSV Liidu Teaduste Akadeemia Tehniliste Teaduste Kogumik, väljaanne 10, 1940. a.

Küsimusele, kui suured on Eesti NSV rahvamajanduslikud kahjud tingituna meie tähtsamate liiklusteede puudulikust seisukorras, võib käesolevā teose autorite vastavate kalkulatsioonide põhjal vastata, et kõigi veovahendite aastane enamkulu ulatub kuni 6 000 000 rublani.

Silmas pidades autotranspordi ja maanteedeasjanduse rahvamajandusliku tähtsuse kiiret tõusu ning teeadeasjanduse suurt tulevikku, on tarvis äsuda ka Nõukogude Eesti teelevõrgu plaanikindlale väljaehitamisele ja ühenduses sellega teede-ehitusmaterjalide uurimisele, materjalide füüsikalise-mehaaniliste omaduste määramisele, materjalide tootmisviisiide ratsionaliseerimisele ja looduslike materjalide uute asukohtade avastamisele.

Et maanteede ehitusmaterjalide tootmine ja töötlemine on seniajani kandnud peaasjalikult käsitöö iseloomu, tuleks ka teede-ehitustööde teostamine ja teede-ehitusmaterjalide tootmine mehhaniiserida, töövõtteid ratsionaliseerida ja viia tootmine sotsialistliku majanduse nõuetekohaseks. On ju teada, et ainuüksi maanteede korras hoiti töödeks kasutatakse aastas vähemalt 700 000 m<sup>3</sup> kruusa, kümneid tuhandeid kuupmeetreid põllukive, paekivi, liiva ja killustikku ning peale selle suurel hulgal tsementi ja bituumenit, kusjuures kulutused teede-ehitusmaterjalide transpordile moodustavad suure osa teede ehitamise ja korras hoiti üldkuludest. Uute autoteede jätkärguline väljaehitamine nõub igal aastal aga kümnedesse miljonitesse ulatuvaid kulusid.

Senine Eesti NSV maanteede võrk koosneb valdavas enamikus kruusateedest. Kruusatee kattematerjalilt nõutakse ilmastikukindlust, tugevust ja püsivust. Sõidutee kattematerjal peab koosnema vastupidavatest kiviliidist ja kruusatee kattesse ei tohi tekkida kuival aastaajal laineid ega löökauke, märjal aastaajal rööpaid ja talvel külmakerkeid. Peale selle on soovitav, et maantee oleks tolmuvaba. Selleks, et neid nõudeid täita, peab kattematerjal olema teatava terastikulise koostisega ja tema osaained peavad vastama kindlatele tehnilistele nõuetele.

Kruusateed on kahel perioodil väga tundlikud ilmastikuolude suhtes: sademeterohkeil aegadel on nad ohustatud sademevete tingimisest sõiduteesse, mille tagajärvel viimane kaotab oma kandevõime ja muutub rööplikuks, kuna sademetevaeseil aegadel kaotab kattematerjal oma siduvuse, tee hakkab tolmama, sõiduteesse ilmuvid ebatasasused, löökaugud ja lained. Järelkult oleneb kruusatee hea seisukord peale muude tingimuste suurelt osalt kattematerjali terastikulisest koostisest.

Eesti NSV on teiste liiduvabariikidega võrreldes tee-ehitustehniliest seisukohast teataval määral erinev maa. See põhineb suurelt osalt klimaatilistel, meteoroogilistel ja geoloogilistel tingimustel, samuti ka kruusamaterjali füüsikalise-mehaanilistel omadustel. Et Nõukogude Eestis on tegemist moreenkruusaga ja seejuures lubjakivise materjaliga ning kruusateede suhtes ebasoodstate klimaatiliste tingimustega, ei saa Eesti NSV-s võtta kruusateede ehitamiseks ja korras hoiti täpset eeskujutist maadest.

Nagu muudelgi tehnika aladel, on Eesti NSV teeadeasjandusel oma

arenemiskäik, oma tehnika ja oma ehituskogemused. Eesmärgiks on pidevate uurimistööde ja katsete alusel leida ja luua kandvat, ilmas-tiku- ja külmakergete-kindlat tasast vastupidavat ning tolmuvaba tee-katet. Loonud Eesti NSV teedevõrgul need eeldused, võib hiljem, tonnaaži kasvades, teatava järjekindlusega üle minna poolpermanent-setele ja permanentsetele katetele.

Seoses Nõukogude Eesti kruusateede olukorra tõstmisega vastavalt Eesti NSV rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaani täitmisele, vähendades seega ka jõuvankrite ekspluatatsioonikulu ning valmistades ette sõiduteid üleminekuks kruusatedelt poolpermanent-setele või permanentsetele teeadele, on Eesti NSV teeadeasjanduse lähi-maks ülesandeeks:

- 1) Inventeerida mineraalsed teede-ehitusmaterjalid, milleks:
  - a) avastada maanteede ehitamiseks ja korrashoiiks kõlblike kivimite, kruusa, liiva ja savilademete asukohad;
  - b) kindlaks määrata Eesti NSV territooriumil need piirkonnad, kus teede ehitamise ja korrashoiu huvides on eriti suur vajadus mineraalsele ehitusmaterjalide järele, ja
  - c) jätkata mineraalsele ehitusmaterjalide tüüsikalise mehaaniliste omaduste määramist ja uurida võimalusi kattematerjali stabi-liseerimiseks orgaaniliste ning mineraalsele sideainetega.
- 2) Välja töötada ja määrrata Eesti NSV kruusateede ehitamiseks ning korrashoiiks kruusamaterjali **optimaalne terastikuline koostis**.
- 3) Luua ühtlus Eesti NSV kruusateede ehitamise ja korrashoiu viisides.
- 4) Valmistada ette maanteid kattematerjalide stabiliseerimisega üleminekuks kruusatedelt poolpermanentsetele või permanent-setele katetele.

## I PEATUKK.

### EESTI NSV-s LEIDUVAD LIIVAD JA KRUUSAD.

Eesti NSV-s leiduvad liivad ja kruusad jagunevad kolme eri rühma: 1) paleozoikumi räniliivid ja räniliivakivid, mis on kõik peeneteralised, 2) räniist ja paekivist koosnevad fluvioglatsiaalsed ning alluviaalsed liivad ja kruusad ning 3) Eesti NSV põhipae teradest koosnevad lubjakiviliivid ja -kruusad. Fluvioglatsiaalsetes ja alluviaalsetes liivades esineb kohati ka paekiviteri; samuti on paeliivid ja -kruusad sageli segatud räniteradega.

Ränikivist koosnevad kruusaliigid rahuldavad kõiki tugevuse ja vastupidavuse nõudeid, kuna paeliiva ja paekruusa omadusi tuleks põhjalikumalt uurida. Moreenis lamab kogu kivim-aines sortimatult, alates väiksemate saviosakestega ja lõpetades hiiglasuurte ränikividega. Sortimata põhimoreeni kõrval on levinud aga mitmesugused sorditud jääveesetted, nagu kihilised kruusad ja liivad ning viirsavid. Veekogudesse settinud liivad ja kruusad moodustavad sageli tüsedaid massiive või jällegi liivkruusaseid seljandikke, kujundades seejuures künkliku moreenmaastiku. Rändrahne leidub aga rohkesti Põhja-Eestis. Liivad on sortimata, rokke peensisaldusega, sageli ilma kivideta, vähemal määral ka kividega.

Jääveeliivid ja -kruusad on nii hulgalt kui ka omadustelt tähtsamaid liiva- ja kruusavarusid Eesti NSV-s. Rannakruusad ja -liivad on levinud piiratumal alal — praegustel ja endistel rannikutel, mis asuvad Eesti NSV madalamates osades. Paerannikul leiduv kruus on lestaline ja kergesti murduv. Rannaliivid ja -kruusad on mitmesuguse teralisusega, kuid enamasti on nad peenemad liivad, mis esinevad tuiskliivadena ja luidetena.

Eesti NSV kruusadele on iseloomustav nende lubjakivimunakate rohkus. See on tingitud arvatavasti sellest, et mannerjää, liikudes üle

Põhja-Eesti laialdase paeala, murdis seal lahti suure osa kivimaterjali ja segas seda kõigi muude moreenainetega. Mida rohkem aga põhja poole, seda suurem on raudkivide osatähtsus nii moreenis kui ka jääveekruusades.

Pinnakatted võib jagada kahte peagruppi, nimelt — mineraalpinnasteks ja orgaanilisteks ehk huumuspinnasteks. Mineraalpinnased jagunevad oma tekkimise seisukohalt 1) pinnasteks, mis on tekkinud jääotsese tegevuse tagajärvel (moreenkihitised), 2) pinnasteks, mis on arenenud jääjõgede tegevuse tagajärvel (jääjõe kruus ja jääjõe liiv), 3) pinnasteks, mis on settinud jäälärvedesse (savi ja möll), ning 4) pinnasteks, mis on tekkinud peale jääaja lõppu (meresetted, seljandike kruus ja savi).

### MOREENID JA MOREENPINNAS.

Liikudes Skandinaaviast lõuna poole, purustas ja jahvatas mannerjää massiivi alumine pind enda all asuva murenenu kaljupinnase. Jää röhumise ja liikumise mõjul purunesid ja murenedesid kivid nii kokkupuutes üksteise vastu kui ka survest vastu kaljust aluspinda. Jää tegevuse tagajärvel tekkisid vähem kandilised kaljurahnu, ümmargused munakivid ja sõmeraline kruus, segatud peeneteralise kaljupinnasega. Pärast jää sulamist jäi see sortimata pinnasematerjal värskele kivisele aluspinnale. Tekkis moreenmaa ehk moreenpinna. Vastavalt oma tekkimise tingimustele nimetatakse moreene jää-, jõe- ja jääveemoreenideks.

Moreenpinnase terastik on tavaliselt sortimata seisukorras. Terasiku suuruselt varieerub moreenpinna suurtest kaljurahnudest kuni peeneterastikulise pinnaseni. Leidub aga ka vastupidiseid setteid, kus terastik asetseb suuruse järgi sorteeritult rõhtsate kihtidena. Suurte kiviplokkide kõrval leidub moreenpinnases ka liiva ja savi. Vastavalt materjali domineerivale terastikulisele koostisele nimetatakse moreenpinnaseid kruusasteks, liivasteks, mölliiks ja savikateks moreenideks. Moreenpinnases leiduvate munakate rohkuse ja kivide suuruse järgi liigitatakse moreenpinnaseid kivirikasteks ja kivivaesteks moreenideks.

Kui kruusase moreenpinnase koostis vastab teede-ehitusmaterjali optimaalsele terastikulisele koostisele, siis on säärase pinnase väärthus teedeasjanduse seisukohalt suur. Koosneb aga moreenpinna ainult peeneteralisest materjalist, siis saab teda teedeasjanduses kasutada vaid sidematerjalina optimaalse teekattematerjali koostisele.

Mannerjää sulamise tagajärvel jäas asuvaisse veesoontesse kokku-kantud jõekruus ja -liiv on ümarateraline ning lamab tavaliselt sortimatult kivikihtidena.

Vastavalt mannerjää tagasitõmbumisele settis jäast lahtirebitud ja edasikantud moreenpinnas võimsate kihtidena, moodustades kruusa-ja liivaseljandikke.

Oma tekkimise loomult on jäejõekruus peente terade poolest vaene.

### JÄÄLAHTEDE JA JÄÄMEREDE SETTED.

Mannerjää hiiglapaksud kihid röhuisid maapinda. Selle tagajärvel jäi pärast jäämasside sulamist suur osa Skandinaaviast allapoole mere-pinda. Piirid, milleni ulatusid jää sulamisest tekkinud veekogud, kanavad geoloogias mere piirjoonte ehk merekallaste kõrgusjoonte nimetust. Jää sulades kahanes surve maapinnale ja maa pind hakkas piklamööda ülespoole kerkima. Selle kerkimise tagajärvel tõusid ka varematel aegadel merepõhja kogunenud settekihid ülespoole ning saavutasid oma tänapäeva kõrgseisu. Skandinaavias ei ole see maa-pinna tõus veelgi lõppenud, vaid kestab käesoleval ajal edasi; nii on see osaliselt ka meil, Soome lahe rannikul.

Sellesse jäämerre, mis jäätaja lõpul kattis suurt osa Skandinaaviast ja ka Eesti alast, suubusid jäejõed, mis kandsid endaga kaasa niihästi suuri munakive kui ka kõige peenemaid pinnaseliike. Need peened pinnaseliigid settisid aegade jooksul rahunenud veekogudes ja moodustasid nn. glatsiaalsavi (kihiline savi). Jää sulamisaja lõpul asetses jää Skandinaavia kõrgseljandikust ida pool, mistöttu tema sulamisvesi oli äravoolus takistatud ja kogunes jäätärvedena mandri ning mannerjää vahelle. Nendesse jäätärvedesse kogunenud settekihid koosnesid tolmuteralistest pinnaseliikidest, mis kuuluvad kõige külmaohtlikumate pinnaseliikide hulka.

Meresette- ehk postglatsiaal-kihitised koosnevad savidest, möllist ja osaliselt ka jämedateralisest kruusast ning liivast. Kui mannerjää oli täielikult ära sulanud, kestis veekogudes leiduvate pinnaste settimine edasi, mille tagajärvel tekkisid uued kihitised, nimelt kihiline glatsiaalsavi (halli või mustja savi viirudega).

Jämedateralised kihitised, kruus ja liiv, sattusid järve- ja merekallastele, moodustades võimsaid moreenkihitisi. Need kruusakihid koosnevad aga sageli sorteerimata materjalidest ja nende kasutamine

teede-ehitusmaterjalina nõuab tavaliselt peenendamist kivipurustajatega.

Tuginedes eespooltoodud lühiülevaatele Eesti NSV-s esinevate liivade ja kruusade ning nende tekkimistingimuste kohta, võib öelda, et Eesti NSV-s leidub kohast kruusamaterjali teede ehitamiseks ja korrashoiiks.

Looduses leiduv kruus ei vasta oma terastikuliselt koostiselt sageli ülesseatud nõuetele. Et ühes või teises kruusakarjääris leiduvat materjali nõuetekohaseks muuta, on tarvis peeneteralist kruusa täiendada jämedateralisega või vastupidiselt. Samuti tuleb sageli lisada sõidutee materjalile savi, et tõsta kattematerjali tihedust ja nidusust.

## II PEATÜKK.

### JÖUVANKRITE LIIKLEMISEL SÖIDUTEE PINNALE TEKKIVATEST DEFORMATSIOONIDEDEST.

Kõige tavalisem põhjus, miks sõidutee pinna kuju muutub, on hobusöiduki rataste mõju. Käesolevas teoses seda lähemalt ei käsitleta.

Uksikasjaliselt peatutakse siin mootorsöidukite kui sõidutee pinna lainetust väljakutsuva teguri juures.

Jõuvankri raskus kantakse üle sõidutee pinnale elastsete vedrude ja õhurehvide kaudu. Liikudes tee pinnal kutsub jõuvanker esile pinnase vibreerimise ja veorataste all — koormusesst sõltuva pöördejõu.

Muutmatu kiiruse puhul jõuvankrist tee pinnale ülekantav surve on ühtlane ainult lühikesel teekonnal: iga ebatasasus tee pinnal, jõuvankri kiiruse muutus ja vedrude ning rataste õõtsumine šassiis muudab ülekantava surve varieeruvaks — teatavast miinimumist maksimumini ja vastupidi. Selle tagajärjel tekivad sõidutee pinnale lohud, kühmud ja muud ebatasasused.

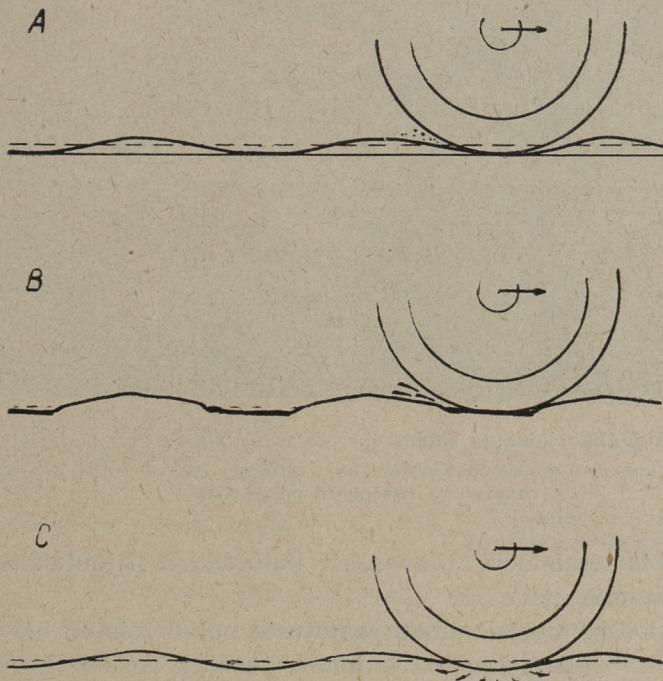
On sõidutee pind ebatasane, püüab jõuvankri juht oma sõiduki kiirust valida nii, et jõuvankri rattad satuksid lainelise tasapinnaga võimalikult resonantsi. See nähtus aga suurendab omakorda lainetuse tekkimist tee pinnal. Sisuliselt on sõidutee pinna lainetus teekattes asetseva materjali ümberpaigutuse nähtus ja on seda aktiivsem, mida rohkem on ühel või teisel materjalil kalduvust selliseks ümberpaigutumiseks. Suur tähtsus teepinna ebatasasuste moodustamisel on ka meteoroloogilistel teguritel.

Võib tähele panna, et lained ja löökaugud tekivad pinnase kolme mehaanilise protsessi tagajärjel, nimelt:

- 1) lahtise kruusa paiskumisest rataste mõjul,
- 2) sademeist läbiimbunud pinnase puhul ja
- 3) pinnase plastilisest deformatsioonist ehk kujumuutusest.

Need protsessid võivad esineda kõik koos, aga ka kahe- või kolmekuupa. Ka võib üks neist olla domineeriv.

Vastavalt mehaanilise protsessi omadustele on erinevad ka löök-augud; suurima praktilise tähtsusega on grupid 1 ja 2, kuna grups 3 kirjeldatud deformatsioon esineb iseseisva nähtusena ja on tingitud peaasjalikult pinnase materjali omadustest. Joonisel 1 on skemaatiliselt näidatud kolm lainete ja löökaukude tekkimise moodust.



Joon. 1. Löökaukude tekkimine. Рис. 1. Образование выбоин.

A. Kruusa paiskumine. B. Löökaukude tekkimine sademeist läblim bunud pinnase puhul. C. Plastilised deformatsioonid.

Harilik lainetus tekib kas kattekruusa paiskumisest jõuvankri rataste all, lahtise kruusa koondumisest kühmudesse (selglainetus) või jälle kuival aastaajal lahtiseks muutunud kattematerjali ümberpaigutustest (vt. joon. 2).

Kõiki neid nähtusi põhjustavad jõuvankri rataste all tekkiv õhu-hõrendus, surve ja hõõrumise jõud.

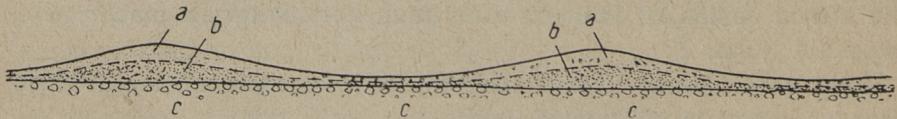
Õuhu-hõrendusest põhjustatud materjali ümberpaigutuse suund on veidi „üles“ ja siis liiklemise suunas „edasi“, kuna ratta hõõrumise jõud püüab suruda kruusa tahapoole, ja seda tugevamini, mida äge-



Joon. 2. Tüüpiline lainetus sõiduteele asetatud lahtise kattematerjali puhul.  
Рис. 2. Типичное волнообразование на полотне дороги из-за наличия не-связанного материала покрытия.

dam on aktseleratsioon. Jõuvankrit pidurdades paigutatakse kruus liiklemise suunas.

Lahtise kattematerjali ümberpaigutuste puhul toimub ka materjali teatav sorteerumine: jämedad ja ümmargused kruusaterakesed ei jääd laineharjadele püsima, vaid veerevad inertsi jõul edasi. Peened osad ei kuku hoogsalt pinnale, vaid hõljuvad õhus tolmu näol. Keskmise terasusega liiv on liiga raske selleks, et tolmuna õhus hõljuda, kuid liiga kerge selleks, et teel rulluda, ja jäääb seepärast nimetamisväärsel hulgal seljandikule, moodustades domineeriva osa lainete tekkimist põhjustavast materjalist (vt. joon. 3).



Joon. 3. Lainete tekkimine. Рис. 3. Образование гребёнки.  
Skemaatiline läbilõige peeneteralise materjaliga korrasoitud teest.  
a — lahtine peeneteraline materjal; b — tihenenud, kuid umbes sama koostisega materjal; c — kõva ja tasane, tihenenud pinnas.

Puhtal kujul ilmneb säärane teepinna lainetuse tüüp seal, kus sõidutee pind on kõva ja tasane, kuid kaetud täiendava kruusatamise puhul peene, mittesuduva liivaga.

Teine liik sõidutee pinna ebatasasusi on lõökaugud. Nende tekkimine on põhjustatud materjali pritsimisest või paiskumisest ühest kohast teise.

Lõökaugud ei ilmu iseseisva nähtusena, vaid tekivad siis, kui sõidutee pinnas on ebatasasusi ja neisse lohukestesse kogunenud vesi on leotanud sõidutee pinna pehmeks taignaks. Kui jõuvankri ratas satub säärasesse lohukesse, surub ta vedela materjali pritsmete näol välja. Siin ei teki lainetusel ei korrapärist amplituudi ega ka reeglipärist vormi, vaid laine tekkimine ja kuju jäävad sõltuvaks pinnase niiskuse ja kattematerjali teralisuse astmest. Sageli võib aga märgata, et sellised lõökaugud ilmnevad üksikute gruppide viisi või jälle ribana — tavaliselt jõuvankri rataste domineeriva liikumise suunas. Säärased lõökaugud tekivad intensiivselt seal, kus kattematerjalis puudub sideaine (vt. joon. 4).

Nagu eespool mainitud, püüab juht jõuvankrile anda lainetega resonantsis olevat kiirust.

Kiiruse järsul kasvul esineb tung tõugata lainet tahapoole, kuna pidurdamisel see tung on suunatud ettepoole.

Mitmeliigiliste mõjude tagajärvel võib tekkida ka uusi, erineva amplituudiga laineid.

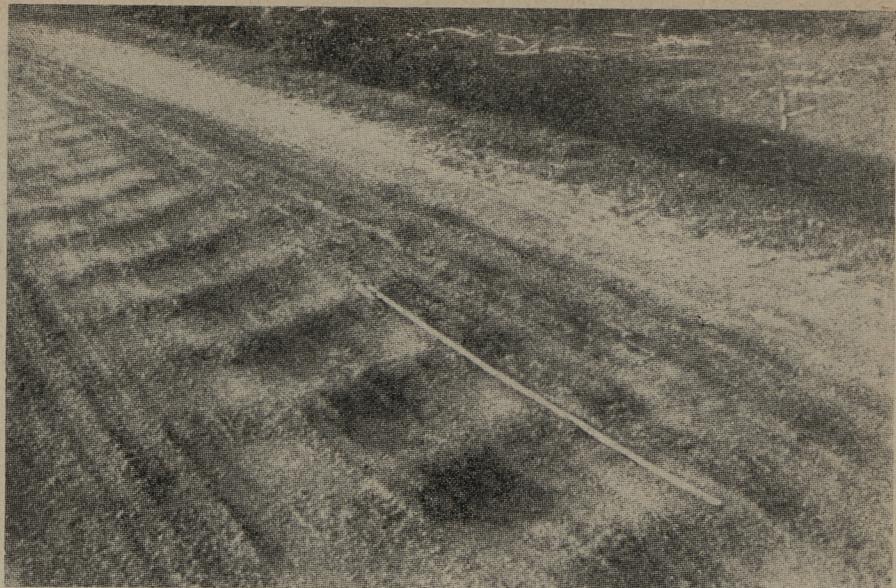
On sõidutee pinnal lahtine kruus, võib olemasolevate lainetega ebataktis juhitud jõuvanker esile kutsuda tiheda amplituudiga laineid (vt. joon. 5).

Lainete liikide ja iseloomu uurimiseks on selleks valitud teealadel tehtud rida mõõtmisi ja tulemused fikseeritud lainete sageduse diagrammides.



Joon. 4. Lõökaugud tiheda liiklusega teel.

Рис. 4. Выбоины на дорогах с тяжелым движением.



Joon. 5. Sügavate lainete ja löökaukudega teepind.  
Рис. 5. Глубокая гребёнка и выбоины на дороге.



Joon. 6. Detail-ülesvõte lainelisest teest.      Рис. 6. Детали гребёнки.



Joon. 7. Tüüpiline kevadine lainetus.  
Рис. 7. Типичная гребёнка, образующаяся весной.

Mõõtmised ja vaatlused näitasid, et lained on võrdlemisi ühtlaselt jaotunud ja nende vahekaugused on tavaliselt 58—70 sm (vt. joon. 5 ja 6).

Süsteemilt on lained kahesugused: suure sügavusega lühikesed lained, mis tekivad koos löökaukudega, ja pikad lained, mis on sageli domineerivad ja mille tekkimist on põhjustanud lahtine kruus.

Lühikesed lained tekivad kevadel ja sügisel, kui tee pind on veest läbi imbusund ja jõuvankrite liikumiskiirus on aeglane (vt. joon. 7).

Pikk laine on tüüpiline suvine laine ja on tingitud suurest liikumiskiirusest.

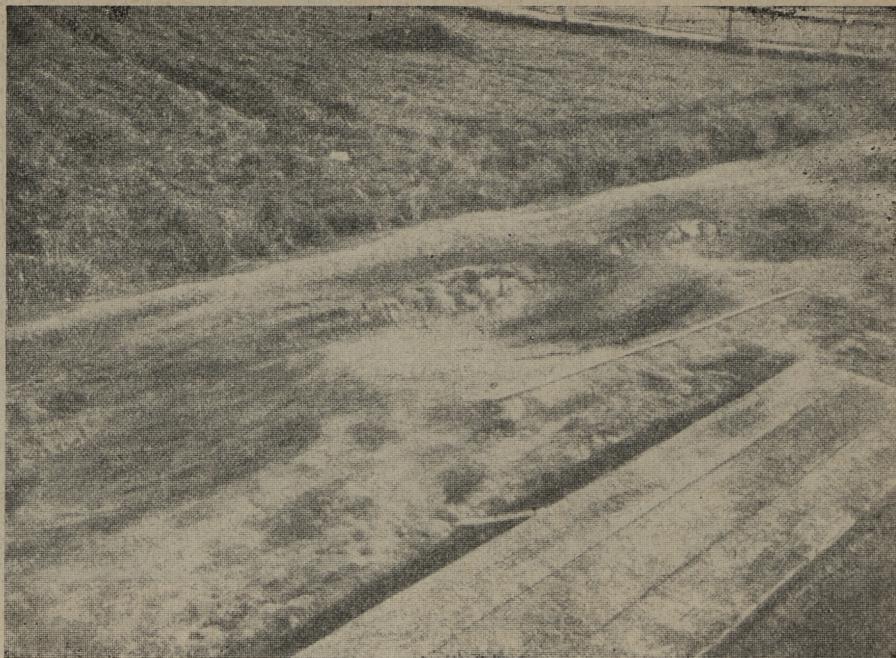
Pinnase deformatsioonist tingituna, eriti aga külmatundlikus pinna-ses, on lainete pikkus 120—160—170 sm (vt. joon. 8).

Laine amplituud ehk kõrgus võib olla mitmesugune. Juba 1 sm amplituudiga lained on teel märgatavad.

Laine amplituud on sõltuv laineharjade-vahelisest kaugusest ja on viimasega vastuproportsionaalne.

Ka lumisel pinnal tekivad lained: külmade ilmade puhul koondub lumi laineiks lahtise lume ümberpaigutuste tõttu. Lume sulamisel algab lume lagunemine nõgudes, mis süvenevad järjekindlalt, ja tagajärjeks on soidutee pinnas põhjalikud deformatsioonid.





Joon. 8. Külmakergetest mõjustatud sõidutee.

Рис. 8. Пучина на проезжей части.



Joon. 9. Õieti kruusatatud sõidutee pind.

Рис. 9. Правильно содержанная дорога.

### III PEATÜKK.

## OPTIMAALSE TERASTIKULISE KOOSTISE MÄARAMISE MEETODID.

Nagu varem mainitud, halvab kruusateede head seisukorda liiga sademeterohke ja liiga sademetevaene aeg.

Sademeterohkel aastaajal imbub sõidutee pind veega läbi ja muutub selle tagajärjel rööplikuks; liigse kuivamise puhul kaob kruusaterade vahel nidusus, tekib tolm, ilmuvald lõökaugud ja lained. Võib järeldada, et sõidutee pinna hea seisukord oleneb peale muldkehakaandejõu veel ehitamiseks tarvitatud kruusa omadustest ja tema terade suuruse jaotusest teekattes.

Suur peente terade sisaldus kruusas põhjustab sademeterohkel ajal rööbaste tekkimist; peente terade puudumine aga soodustab kuival ajal lõökaukude ja lohukeste ilmumist sõidutee pinda. Tuleb lahendada küsimus, millistele omadustele peab vastama sõidutee ehitamiseks ja korrashoiiks valitav kruus, et vältida lõökaukude ja lainete tekkimist kuival ajal ning rööbaste tekkimist sademeterohkel ajal.

Lahendanud muldkehakaandvuse ja kruusaterade kövaduse küsimuse sellekohaste uurimistega, tuleb vastuse leidmiseks otsida lahendust vaatluste ning uurimiste abil neilt teealadel, mis säilisid sügisest järgmise kevadeni rööbasteta olekus, ning jälgida teealasid, kus kuvadele aegadele vaatamata ei teki lohukesi, lõökauke ega laineid.

## KRUUSA TERASTIKULISEST JAOTUSEST SUURUSE JÄRGİ TEEKATTES.

Kruusatee kattekihi head seisukorda häirivad sademeterohked aastaajad, mil sõidutee on vett täis imbus, ja ka kuivad perioodid, mil kattematerjalis puudub vajalik veehulk kattematerjali terakeste kooshoidmiseks kapillaarvee pindpinevuse arvel. Kõrge niiskuseäste kattematerjalis alandab katte kandejõudu, kuna vähene niiskuse-sisaldus kaotab terakestevahelise siduvuse, mille tagajärjel peened

terakesed eralduvad üksteisest ja tõusevad kas tuule ja sõidukite mõjul tolmu näol õhku või uhetakse tee pinnalt sademete poolt. Sõiduteesse ilmuvad lained. Järelikult tuleb kattematerjali kohta püstitada nõue, et see omaks sademeterohkel ajal suurt kandejõudu ja kuival ajal küllaldast siduvust.

Eespoolkirjeldatud nähtusi peab uurima teineteisest lahus, kuid lõpplahendusena tuleb määrata kattematerjalile säärane koostis, mis vastaks mõlemale tingimusele.

### VETT TÄISIMBUNUD KATTEKIHI KANDEJÕUD.

Kattekihi kandejõu all tuleb mõista sõidutee vastupidavust survele tema koormamisel teel liiklevate veovahenditega.

Kattekihi kandejõud sõltub eeskätt muldkeha 'kandejõust, kattematerjali terastiku jaotusest selle suuruse järgi kattekihis, kattematerjali tihedusastmest, hõõrdejõust terakeste vahel, veesisaldusest ja kattekihi paksusest. Mõistagi peab maantee muldkeha omama koormusele vastavat kandejõudu ja vett dreneerivaid omadusi.

Et väliskoormusest tekivid pinged on kõige suuremad sõidutee pealispinnas, kahanevad aga muldkeha suunas, siis on sõidutee kattekiht ka sademete puhul mõjutatav kõige rohkem just ülemistes kihtides. Seega tekivid sõidutee deformatsionid eeskätt katte ülemistes kihtides.

Siiit järgneb probleem: kuidas muuta kruusatee kattekiht niisuguseks, et sademeterohkeil aegadel ei tekiks tee sõidetava osa kattekihti rööpaid ega löökauke? See saavutatakse kattematerjali tihendamisega. Tihedust aga annab kattematerjalile selle optimaalne terastikuline koostis. Järelikult tee kattematerjal on küllaldase tiheduseastmega ja kandev, kui vaatamata rohke niiskuse olemasolule kattematerjalis endas ja sademetest üleujutatud sõidutee pinnas ei teki siiski sõidutees ratta survest rööpaid ja kattematerjalis terakeste nihkumist.

Milline on niisuguse kattematerjali terastikuline koostis, see on käesolevate rirade autori poolt lahendatud sel teel, et varakevadel ja hilissügisel uuritavatest teealadest võeti kattematerjali proovid neist kohtadest, kus sõidutee pind oli muutunud rööplikuks, ja samuti ka neist kohtadest, kus samade ilmastikuolude ja võrdsete teekoormuse ning muldkeha pinnase ja kattematerjali füüsikalise-mehaaniliste omaduste puhul oli sõidutee pind jäänud tasaseks, kandvaks ja deformatsioonidest vabaks.

Analüüsides kandva ja mittekandva tee kattematerjali terastikulist koostist, saadi vastus küsimusele, milline kattematerjali terastikuline koostis annab kandva ja milline mittekandva kruusatee kattekihi.

Et saadud analüüsi tulemused oleksid kõigiti täpsed ja igakülgsest kontrollitud, võeti proove ka niisugustelt teealadel, kus mittekandva sõidutee osa kõrval leidus üksikuid kandvaid kohti tasase ja defekti-deta teepinnaga. Nii kindlustati analüüsitarvate materjalide võtmise ühiste välisingimuste juures, s. o. pinnase, koormuse, sademete, kapillaarvete jne. suhtes.

Võetud proovid sõeluti gruppide kaupa (kandev ja mittekandev kattematerjal) läbi standardsõelte. Saadud andmeil koostati vastav sõelumiskõverate diagramm, millest selgub, et rööbasteta jäänud sõidutee pinnamaterjali kõverjooned asetsevad tihedas grups üksteisega enam-vähem paralleelselt ja madalamal, kuna mittekandva kattematerjali kõverjooned asetsevad kõrgemal ja mitmesuguses asendis. Nende sõelumiskõverate gruppide abil saab ära määrata sademeterohkeil aegadel rööbaste tekkimist takistava kattematerjali koostise piirjooned.

### NÖUDEID SÕIDUTEE PEALISPINNA KOHTA.

Kruusatee peab olema tasane, küllaldaselt kare ja võimalikult tolmuvaba.

Tolmamist võib takistada kaks asjaolu, nimelt: kattematerjal ei tohi sisaldada tolmuteri, või jällegi peaksid tolmuterakesed asetsema kattematerjalis seotult.

Tasane on sõidutee siis, kui temas ei ole laineid ega löökauke. Lained ei teki aga siis, kui kattematerjal on tihedalt seotud ja hästi tee-kattesse „pakitud“.

Teatava niiskusesisalduse puhul on kattematerjal seotud kapillaarvee pindpinevuse arvel. Kuivade ilmade puhul võib aga kattematerjalis leiduv niiskus peaaegu täielikult ära aurata ja teekate hakkab lagunema. Seega tekib tee tolmamine ja teepind muutub laineliseks. Järelikult tuleb kattematerjali terastikulist koostist analüüsida ka tolmavuse ja lainetavuse seisukohalt.

Vastavate uurimiste põhjal on selgunud, et maantee õhkutõusvate tolmuterakese maksimaalne läbimõõt on 0,2 mm. Järelikult, kui kattematerjal ei sisalda peenemaid teri kui 0,2-mm läbimõõduga, siis ei ole kate tolmav. Kuid teisest küljest, kui kattematerjalis ei ole peeni teri,

siis puudub tal siduvus, ja sõidutee pinnal tekib lahtise materjali ümberpaigutusi. Järelikult on peeneteraline ja liivane teekattematerjal väga lainetustundlik, kuna jämedamate terade olemasolu kattematerjalis mõjub lainete tekkimist leeendavalt.

Kuid jämedateralisel kattematerjalil on katte püsivuse seisukohalt ka oma halvad küljed: jämedateraline materjal, kui selle koostises puudub peeneterastikuline siduv materjal, on kattes alatiselt liikuv ja veerev. Alatisel liikumisel aga terakesed kuluvad, tekib tolm ja kate muutub aja jooksul lõökauguliseks ja laineliseks. Peale selle vähendab lahtise kattematerjali olemasolu jõuvankri ratta ja sõidutee pinna vahelist kasulikku hõõrdejõudu.

Eespoolkirjeldatud analüüside põhjal jõuame lõpliku järelduseni, et kruusatee peab olema alatiselt ja küllaldaselt seotud seisukorras, mida võib saavutada peente terakeste olemasoluga kattematerjalis, kus ruumitühikud jämedamas terastikus tuleb täita mitmekesise terasuursega peenmaterjaliga — „sideaine“. Sideaineks kattekruusas võib olla savi. Savi omadus siduda kruusa kuival ajal kõvaks, kompaktseks kehaks põhineb sellel, et savi, sisaldades teataval määral vett, ei anna kuivamisel kogu vett ära ja terakesed jäävad üksteisega liituvusse saviterakeste vahel tekkiva vee pindpinevuse arvel.

Savis leiduvad suuremad kehakesed moodustavad sõrestiku ehk skeleti. See on savikeha kandev osa. Väikesed, mikroskoopilised terakesed täidavad osa ülejäänud ruumist, andes pinnasele käsnataolise struktuuri. Need väikesed terakesed ja peentes poorides sisalduv vesi on füüsikaliste-keemiliste protsesside alusel omavahel ühenduses — see nähtus annabki savile sitkuse ja kõ vaduse.

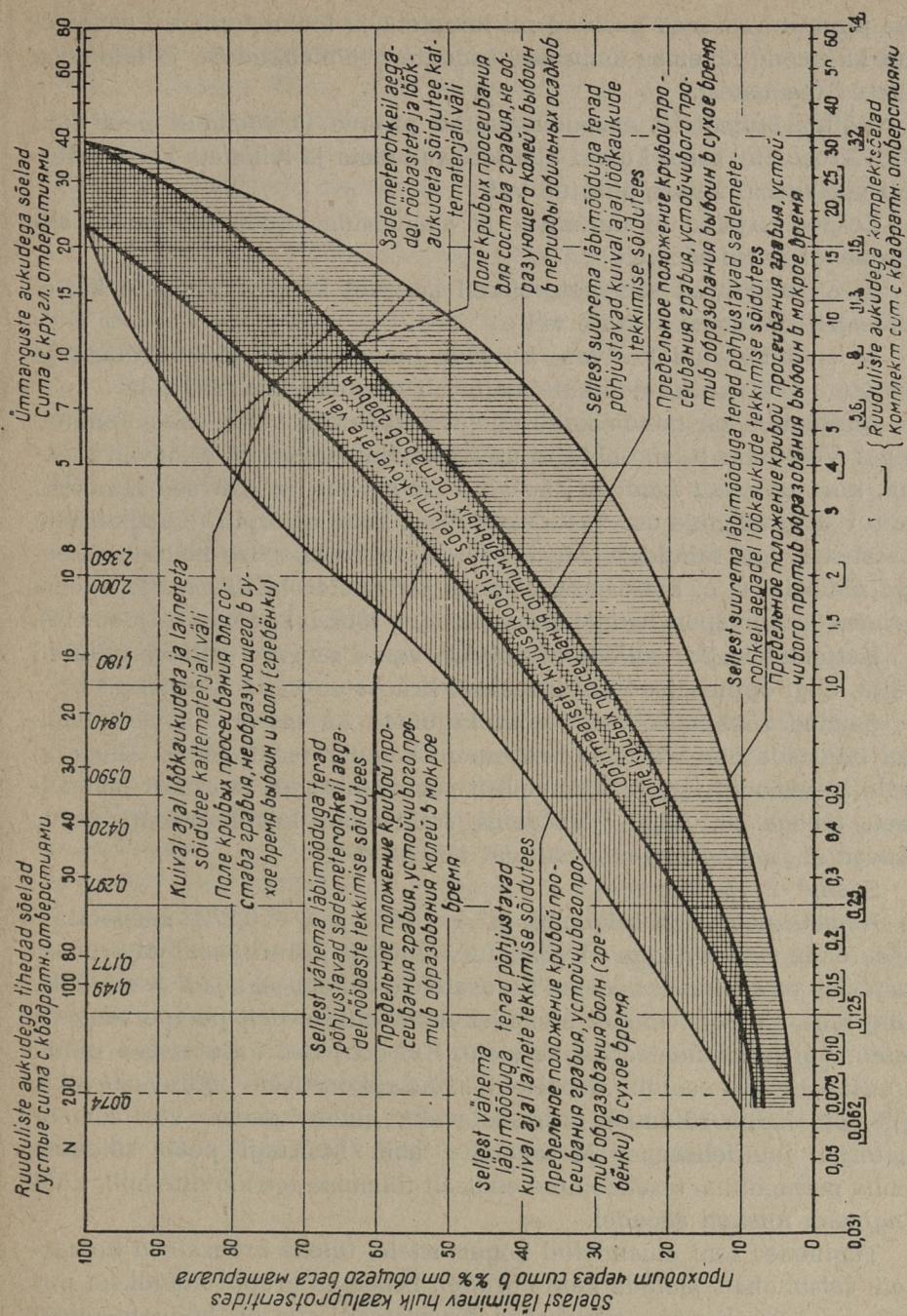
Saviteradel on kogusummas suur pindala. Näiteks 1 g peensavi sisaldab 9 890 000 sm<sup>2</sup> pinda.

Tänu peente terakeste olemasolule savis on adsorptsioniprotsess seal suur.

Vee molekuli suhtes negatiivselt laaditud mineraalosakesed tömbavad vett ligi ja ümbritsevad end õhukese vedelikukihikesega. Savi kuivamisel tömbab see vedelikukihike enda suure jõuga terakestele ligi ja savi omandab suure siduvuse ning tömbele vastupidavusvõime.

Järgnevalt jõuame teisele järeldusele, nimelt: et saavutada ning säilitada tasast ja siduvat, laineteta ja tolmuvaba teekatet, peab kattematerjal sisaldama ning endas alal hoidma teataval määral vett.

Küsimusele, milline on siis kuival aastaajal tasase, lõökaukudeta ja laineteta sõidutee kattematerjali terastikuline koostis, võib saada vastuse, kui võtta kestval sademeteta perioodil, s. o. kesksuvel, sõidu-



Joon. 10. Kruusa optimaalse terastikulise koostise sõelumiskõverate esialgne diagamm.

Рис. 10. Первоначальная диаграмма поля кривых просеивания оптимального состава гравия.

tee pinnast vastavad proovid nii laineteta ja lõökaukudeta kohtadest kui ka nende lähemas ümbruses asuvatest lõökaukudega ja lainetega kaetud teealadest.

Võttes hulgaliselt eespoolmainitud proove ja sõeludes need läbi standardsõelte, saadi kuival ajal lõökaukudeta ja laineteta kattematerjali sõelumiskõverate piiratud väli.

Eespoolkirjeldatud uurimiste ja analüüside kaudu on jõutud alljärgnevatele tulemustele:

a) on määratud sademeterohkeil aegadel kandva sõidutee kattematerjali sõelumiskõverate väli;

b) on koostatud kestvate kuivade ilmade puhul lõökaukudeta ja laineteta säiliva sõidutee kattematerjali sõelumiskõverate väli.

Missugune on nende kahe sõelumiskõverate välja suhe teineteisega? Vastuseks tuleb öelda, et mõlemal diagrammil on erinevad asendid, kuid *osaliselt katavad nad siiski teineteist*. Ja just see teineteist kattev diagrammide osa vastab niisuguse kattematerjali terastikulisele koostisele, mis rahuldab ideaalse terastikulise koostise kohta ülessestadtud nõudeid, s. o. kattematerjal peab sademeterohkeil aegadel olema kandev ja kuivaperiodidel laineteta ning lõökaukudeta (vt. joon. 10).

Kattematerjalid, millede sõelumiskõverad satuvad sellesse piiratud välja, ongi optimaalsed või ideaalsed kruusatee kattematerjalid.

Saadud sõelumiskõverat võib kujutada ka integraalkõvera näol, kui tähistada ühe või teise fraktsiooni kaaluprotsenti segus tähega  $x$ , selle fraktsiooni järjekorra numbrit segus, lähtudes terastiku jämedustest, tähega  $m$ , kõige jämedama fraktsiooni kaaluprotsenti segus tähega  $A$  ja progressiooni näitajat tähega  $q$ .

$$\text{Saame } x = A \cdot q^{m-1}$$

Katsete põhjal on selgunud, et  $A = 25\%$  ja  $q = 0,772$ . Eespoolkirjeldatud menetlusviisiga on võimalik kergelt ja kiiresti määrata kruusamaterjali terastikulist koostist kruusateede ehitamiseks ja korrashoiiks ning luua kindlat teekatet üleminekuks kruusateedelt poolpermanentsetele või permanentsetele katetele. Kui seni teel kasutamisel olnud kruusamaterjal osutub ideaalsete kruusa koostisele mittevastavaks, siis võib halba sõiduteed korrasolevaks muuta peene või sõmera materjali juurdelisamise ja segamise abil. Mõistagi peab sõidutee pinna perioodiline tasandamine endiselt toimuma teehöövlite abil, kuid tingimata niiskeil aegadel.

Tuginedes seni omandatud kogemustele, tuleks kruusateed korrashoi seisukohalt jaotada kahte gruppi. Esimesse gruppi kuuluksid niisugused kõrvalisema tähtsusega kruusateed, mis on hõöveldatavad

kogu suve kestel. Need on peamiselt vanemad teed. Teise gruvi moodustaksid kapitaalremondi kaudu kordaseatavad ja ka uesti ehitavad kruusateed. Teise gruvi teede materjal tuleb koostada kruusa optimaalse sõelumiskõverate diagrammi järgi ja sideainena tarvitada ka savi. Kui tahetakse aga tee pinda ka tolmuvabaks teha, siis tuleb tarvitada vastavaid vahendeid, nagu sulfitleelist, bituumeni-emulsioone, kloorkaltsiume jne.

Sulfitleelisega töödeldud teid võib hööveldada ainult sademeterohkeil aegadel, varakevadel ja hilissügisel. Hööveldada tuleb nii, et tee pind ei oleks ainult näiliselt tasane, vaid et lainetus oleks kogu „juurtega“ kõrvaldatud.

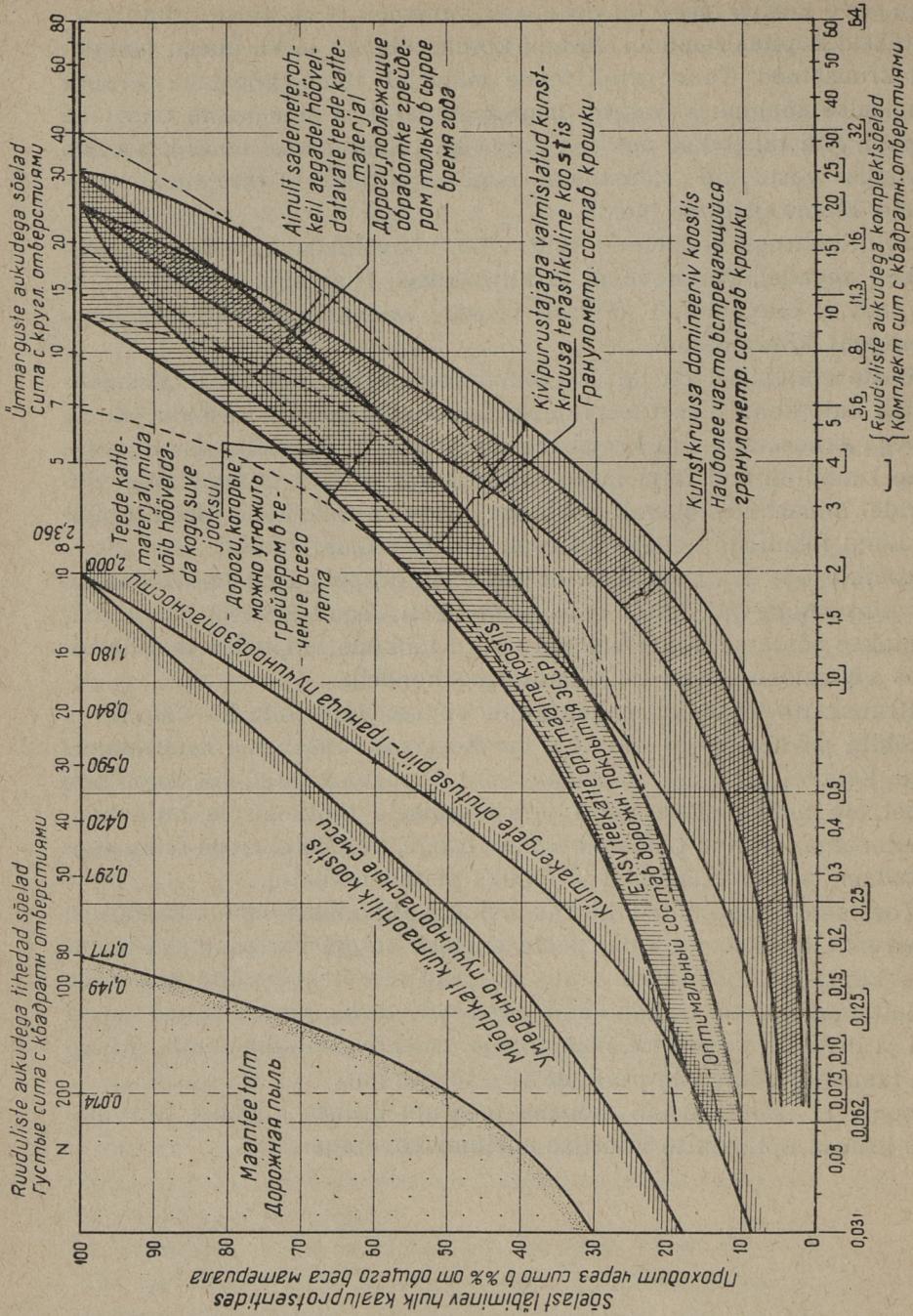
Katte ehitamisel on tarvis hoiduda sellisest ehitusviisist, mis soodustab kattekeha liigset kuivamist. Siin tuleb eeskätt mainida poorse alusega kruusateid. Kui kruusatee ehitatakse kivialusele, siis on vaja aluse ruumitühikud täita mitte killustikuga, vaid kruusaga ning vibreerida. Endastmõistetavalt peab seejuures ka muldkoha olema ehitatud kõigi tehniliste nõuete kohaselt ja ilmastikukindlalt.

Kivialusega kruusateed kuuluvad teise gruuppi ja on hööveldamise teel korras hoitavad ainult sademeterohkeil aegadel, kuna suvel saavutatakse sõidutee pinna hea seisukord lohkude lappimise teel, tarvitades võimaluse korral ka tolmutörjevahendeid.

Kruuskatte terastiku maksimaalne suurus võiks olla 25—30 mm ja kattekihi paksus 6—10 sm. Kui tee koormus töuseb üle kruusateede kohta kehtiva piirjoone (mõeldav 500 t ööpäeva kohta), siis tuleb neil needel üle minna sama katte järkjärgulisele töötlemisele bituumen-sideainetega (esialgu pindamine, höövlisegu, vaipkate, edasi bituumenmakadam, tsementmakadam ja lõpuks permanentkate).

Teealadel, mida tuleb korras hoida perioodilise hööveldamisega, on tarvis olemasolevat katet peale viimase kerget üleskündmist täiedada kunst- ja loodusliku kruusaga ning sideaineks võtta kas vana teekatte peenemad fraktsioonid teelt või tarbe korral lisada peent savi ja liiva, nii nagu seda määrab sõelumiskõverate diagramm. Terastiku läbimõõt võiks siin piirduda 12—18 mm-ga.

Joonis 11 iseloomustab mõlema teegrupi kruusa koostisi, kõrvutatuna kruusa optimaalse koostise sõelumiskõveraga.



Joon. 11. Teekatte kruusa optimaalse terastkulise koostise sõelumiskõverate täiustatud diagramm.

Рис. 11. Поле кривых просшивания оптимальных гранулометрических составов дорожного гравия. Усовершенствованная диаграмма.

#### IV PEATÜKK.

### OPTIMAALSE KATTEKRUUSA KOOSTAMINE SÖELUMISKÖVERATE ABIL.

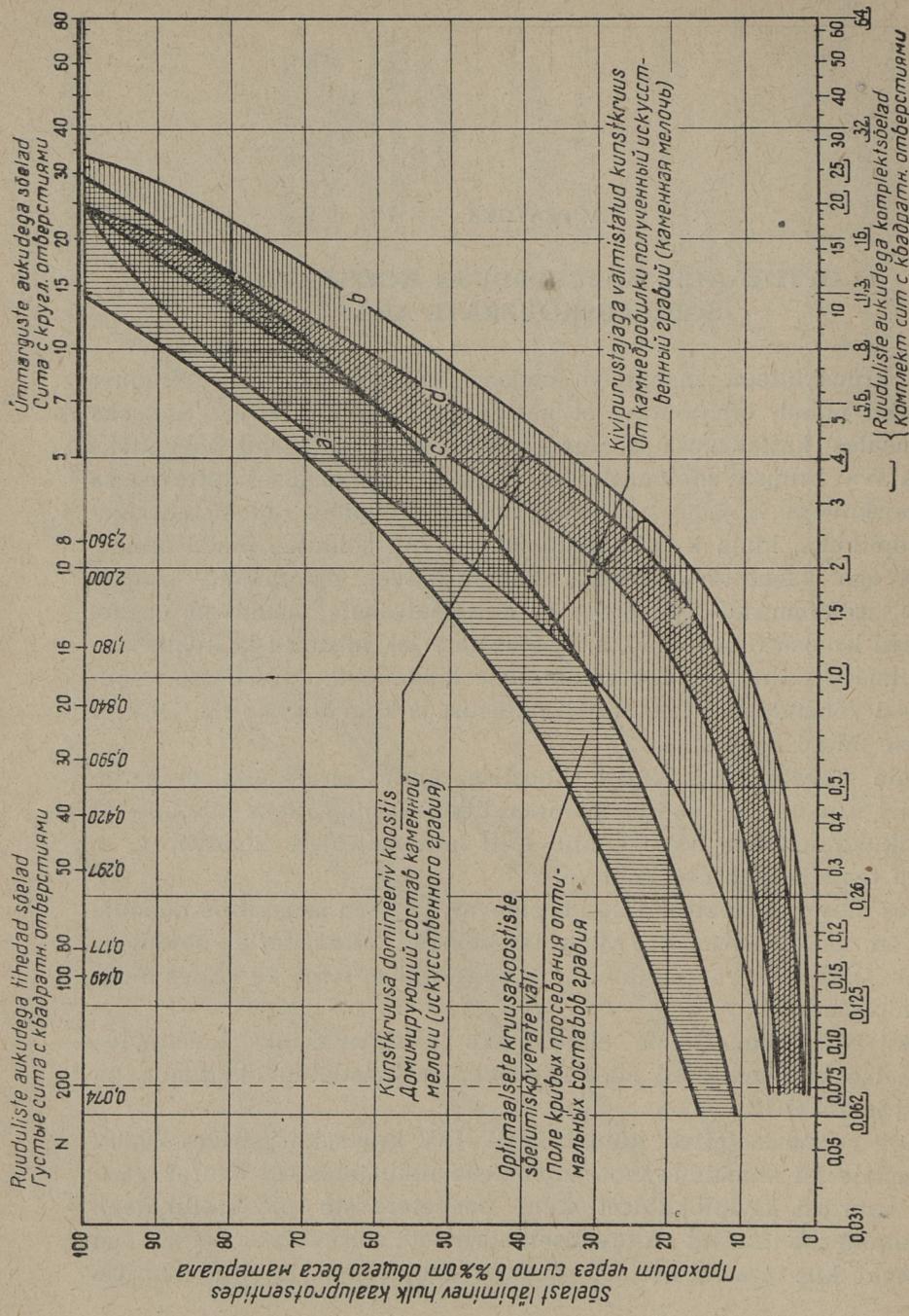
Et kruuskattega maanteed oleksid kandevõimelised igasuguse ilmastiku puhul, on nõutav, et kattekruusa sõelumisköver asetseks „optimaalse kattekruusa sõelumisköverate väljas“. Kui teekatteks kasutatava kruusa sõelumisköver asetseb „optimaalse kattekruusa sõelumiskövera väljast“ kõrgemal, muutub sõidutee sademeteperioodil rööplikuks, kuna kuival aastaajal tekivad sõidutee pinda lained. Võtab aga kasutatava kruusa sõelumisköver diagrammil madala asendi, iseloomustab see seda, et kattematerjalis puuduuvad peeneteralised kruusafraktsioonid, s. o. sidematerjal, mistõttu kestvate kuvade ilmade puhul tekivad sõiduteesse löökaugud. Aukudesse kogunev vesi vähendab kattematerjali nidusust ja kate hakkab aja jooksul sõitmise mõjul lagunema.

Peale nõuete terastikulise koostise suhtes on vajalik, et kattematerjal koosneks kõvadest mineraal-liikidest ning oleks kulumis- ja ilmastikukindel. See nõue kehtib eriti kattematerjali kandva, s. o. jämeda ferastikulise osa kohta.

Tees olev kättematerjal kulub pidevalt ja tema aegajaline uuendamine on möödapääsmatu. Mida tihedamalt kattematerjal sõidutees asetseb, seda väiksem on kululus ja seda vähem tekib ka kattes lõökauke ning laineid.

Eesti NSV kruusateede ehitamiseks ja korras hoiumaks kasutatava optimaalse kattematerjali sõelumiskövera viimistletud diagramm on toodud joonisel 12.

Nagu varem mainitud, kuulub Eesti NSV kruusakarjäärides leiduv kruusamaterjal enamikus moreenpinnaste liiki; terastiku suurus varieerub suurtest kiviplokkidest kuni peeneteraliste pinnaselikideni. Moreenpinnase terastik on tavaiselt sortimata seisukorras. Leidub aga ka setteid, kus terastik asetseb röhtsate kihtidena sorteeritult suuruse järgi.



Kui kruusase moreenpinnase tee-ehitusmaterjali koostis vastab optimaalsele terastikulisele koostisele, siis on selle pinnase väärthus teedeasjandusele suur. Koosneb aga karjäärimaterjal kas liiga jämedaist, peeneteralistest või ebaühtlase terastikuga pinnaselikidest, tuleb materjal koostada ükskute kruusakihtide omavahelise segamise ja väärustumise teel, nii et materjali terastikuline koostis vastaks ideaalset ehk optimaalse terastikulise koostise diagrammile. Segamisel on aga tarvis silmas pidada ka materjali füüsikalisi-mehaanilisi omadusi ja tootmiskulude ökonomust.

Kruusavõtukohtade praktilisel valikul on vaja taotleda võimalikult minimaalseid veokaugusi, kruusamaterjali väärustumiskulude odavust ja tööde teostamise lihtsust. Sellest lähtudes tuleb paljudel juhtudel kvaliteedile paratamatult eelistada ökonomust. Osutub ühes kruusakarjääris leiduva kihilise materjali väärustumine sortimise teel kulukaks, tuleb optimaalse terastikulise koostisega materjali saamiseks sageli võtta segudeks vajalikke fraktsioone üheaegselt mitmest naabruses asuvast karjäärist, segades materjali sõidutee pinnal randaalide, äkete või teehöövlite abil.

Et õieti ja ekšimatult projekteerida kruusasegusid kiire ja lihtsa meetodi abil, on alljärgnevalt toodud mõned praktilised juhendid optimaalse kruusasegude projekteerimiseks analüütilisel teel sõelumiskõverate abil.

Segude projekteerimisel tuleb võtta kavatsetud karjäärimaterjali, sõeluda viimane läbi komplektsõelte, kanda sõelumistulemused diagrammile (sõelu läbinud fraktsioonide kaaluprotsentides) ning võrrelda saadud sõelumiskõvera asendit diagrammil optimaalse välja asendiga (vt. joon. 13).

Esitatud sõelumiskõvera diagrammil on terade läbimõõdud abstsissiteljele kantud logaritmilises mõõtskaalas ja kasvavas järjekorras, alates terastikust läbimõõduga 0,062 mm. Seega on abstsissiteljele kantud mitte terade läbimõõtudega proporsionaalsed lõigud, vaid lõigud  $n$ , mis on määratud võrrandiga

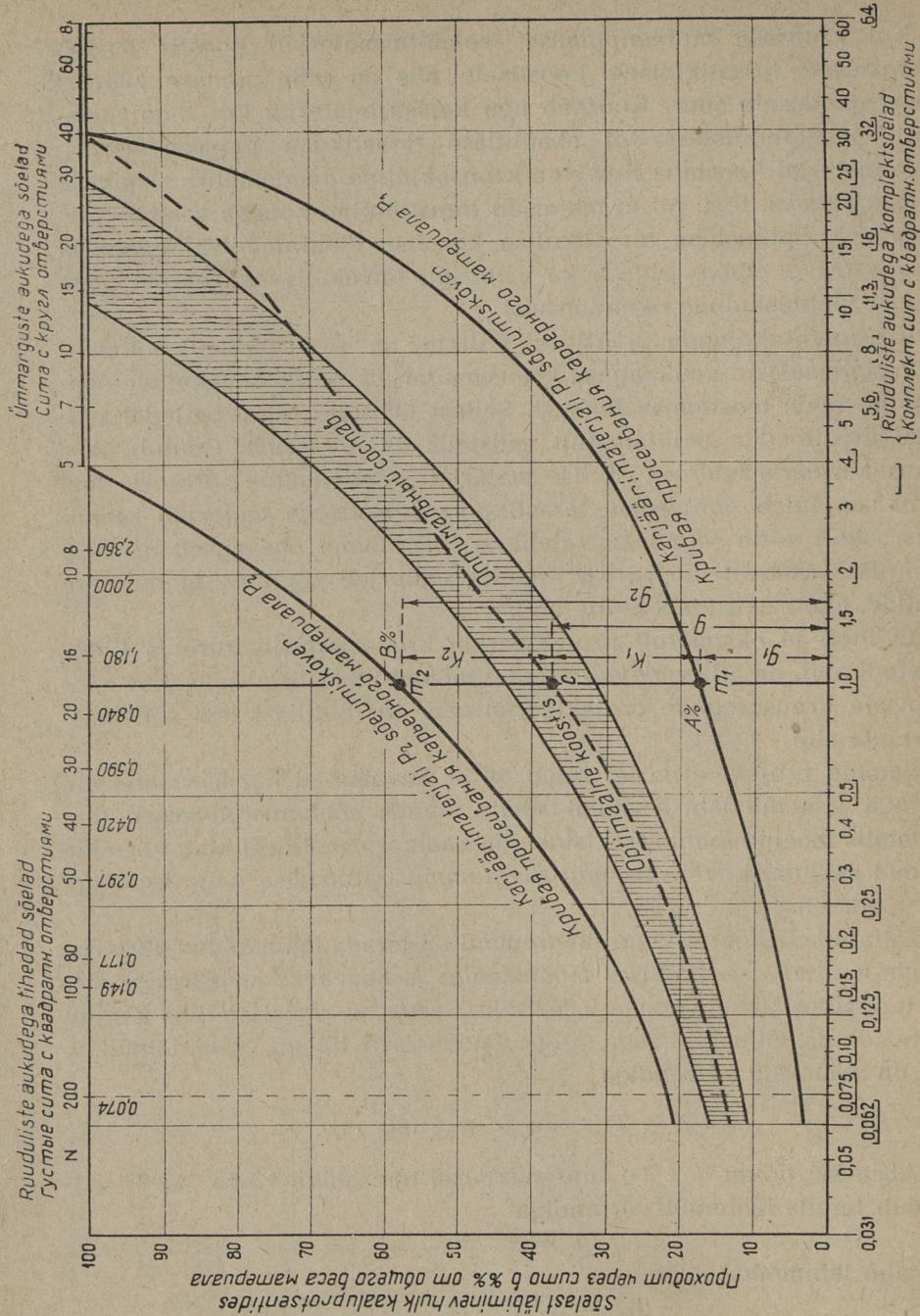
$$d = 2^n, \quad \text{kust} \quad n = \log_2 \cdot d$$

Abstsissi (lõigu  $d = 2^n$ ) suurendamisel ühe ühiku võrra ( $n+1$ ) väljendub terade läbimõõt võrrandiga

$$d_1 = 2^{(n+1)}$$

ja kahe läbimõõdu suhe

$$\frac{d_1}{d} = 2^{(n+1)-n} = 2.$$



30

Järelikult suurendades abstsissi ühe ühiku võrra, suureneb terade läbimõõt kahekordset. Sel põhimõttel ongi koostatud joonistel toodud sõelumiskõverate vörk (vt. joon. 17).

Ordinaatteljele on kantud alt ülespoole üksikute fraktsioonide läbiminek antud sõelast kaaluprotsentides.

Kui analüüsitava materjali sõelumiskõver asetseb „optimaalses piirses väljas“, siis vastab kruusamaterjal nõuetele. Vastasel juhul aga tuleb optimaalse materjali saamiseks koostada segu üksikutes kihtides või erinevates karjäärides leiduvate materjalide omavahelise segamisega.

Selleks on tarvis kruusakarjäärides välja valida sobivamat kihid, sõeluda need läbi standardsõelte ja kanda tulemused kaaluprotsentides sõelumiskõverate diagrammile.

Diagrammile kantud üksikute kruusaliikide sõelumiskõverad võimaldavad lahendada kaht ülesannet korraga:

a) kindlaks määrata võimalust koostada neist materjalidest optimaalne segu ja

b) määrata koostisse kuuluvate materjaliosade kaaluprotsendilist vahekorda.

Et koostatava segu sõelumiskõver asetseks sõelumiskõverate diagrammil „optimaalse kruusasegu piiratud väljas“, on tarvis ära määrata, kui palju tuleb võtta segu koostamisel üht ja teist materjali, et neist koostatud segu vastaks optimaalsele.

Vastuse sellele annavad järgmised menetlusviisid.

Oletame, et kavatsetud on koostada kruusasegu kahest karjääri-materjalist  $P_1$  ja  $P_2$ , millede sõelkõverate asend diagrammil on tähistatud punktidega  $m_1$  ja  $m_2$ ; nende materjalide läbimineku hulk ühest vabalt valitud sõelast kaaluprotsentides on märgitud ordinaatidega  $g_1$  ja  $g_2$ ; soovitud optimaalse segu kaaluhulka (sama sõela suhtes) tähistava punkti C ordinaat on märgitud „optimaalsete kruusakoostiste sõelumiskõverate piiratud väljal“  $g$ -ga. (vt. joon. 13).

Kui punkt C on valitud „optimaalset välja“ piirava ülemise joone lähedale, saadakse peeneteralisem optimaalne segu, ja vastupidi. Ordinaadid  $g$ ,  $g_1$  ja  $g_2$  diagrammil on mõõdetavad lineaarsuurustes ning väljendavad valitud sõela auke läbinud materjali hulka kaaluprotsentides. Millisel hulgal aga valida optimaalse segu koostamiseks üht ja teist materjali omavaheliseks segamiseks, et saada segu antud sõela kaaluprotsendilise ordinaadiga  $g$ , selle lahendamiseks tuleb käesoleval juhul näiteks võtta  $A\%$  materjalist  $P_1$  ja  $B\%$  materjalist  $P_2$ , kusjuures  $A+B=100\%$  ja nende mõlema materjali võetud osade kaalu-

protsentide kogusumma peab võrduma soovitud segu kaaluprotsendiga.

Väljendades eelnenu matemaatilise valemina, saame:

$$g = \frac{g_1 \cdot A}{100} + \frac{g_2 \cdot B}{100};$$

et aga

$$K_1 = g - g_1, K_2 = g_2 - g$$

ja

$$A = 100 - B, B = 100 - A, \text{ loome järgmised võrrandid.}$$

Asetades  $K_1$ -ga ja  $K_2$ -ga tähistatavasse võrrandisse  $g$  väärused, saame:

$$K_1 = \frac{g_1 A}{100} + \frac{g_2 B}{100} - g_1 = \frac{g_1(100 - B)}{100} + \frac{g_2 B}{100} - g_1.$$

Avanud sulud ja kooordanud võrrandi, saame:

$$K_1 = \frac{B(g_2 - g_1)}{100}, \text{ analoogiliselt } K_2 = \frac{A(g_2 - g_1)}{100}$$

ja suhe  $\frac{K_1}{K_2} = \frac{B}{A}.$

Sii selgub, et optimaalse segu koostamiseks valitud materjalide osade hulgad, väljendatult kaaluprotsentides, on pöördvõrdelises vahekorras nende kaugustega ( $K_1$  ja  $K_2$ ) sõelumiskõverate diagrammil valitud optimaalse segu punktist  $C$  ehk  $AK_1 = BK_2$ .

Teise menetlusviisiga on võimalik määrata seguks võetavate materjalide osade protsendilist hulka segus, koostades tasakaalu-võrrandi punktide  $m_1$  ja  $m_2$  kohta (vt. joon. 14), nimelt  $A \cdot L - C \cdot b = 0$  ja  $B \cdot L - C \cdot a = 0$ , kus  $A = 100 - B$ ,  $B = 100 - A$ ,  $C = A + B = 100\%$ .

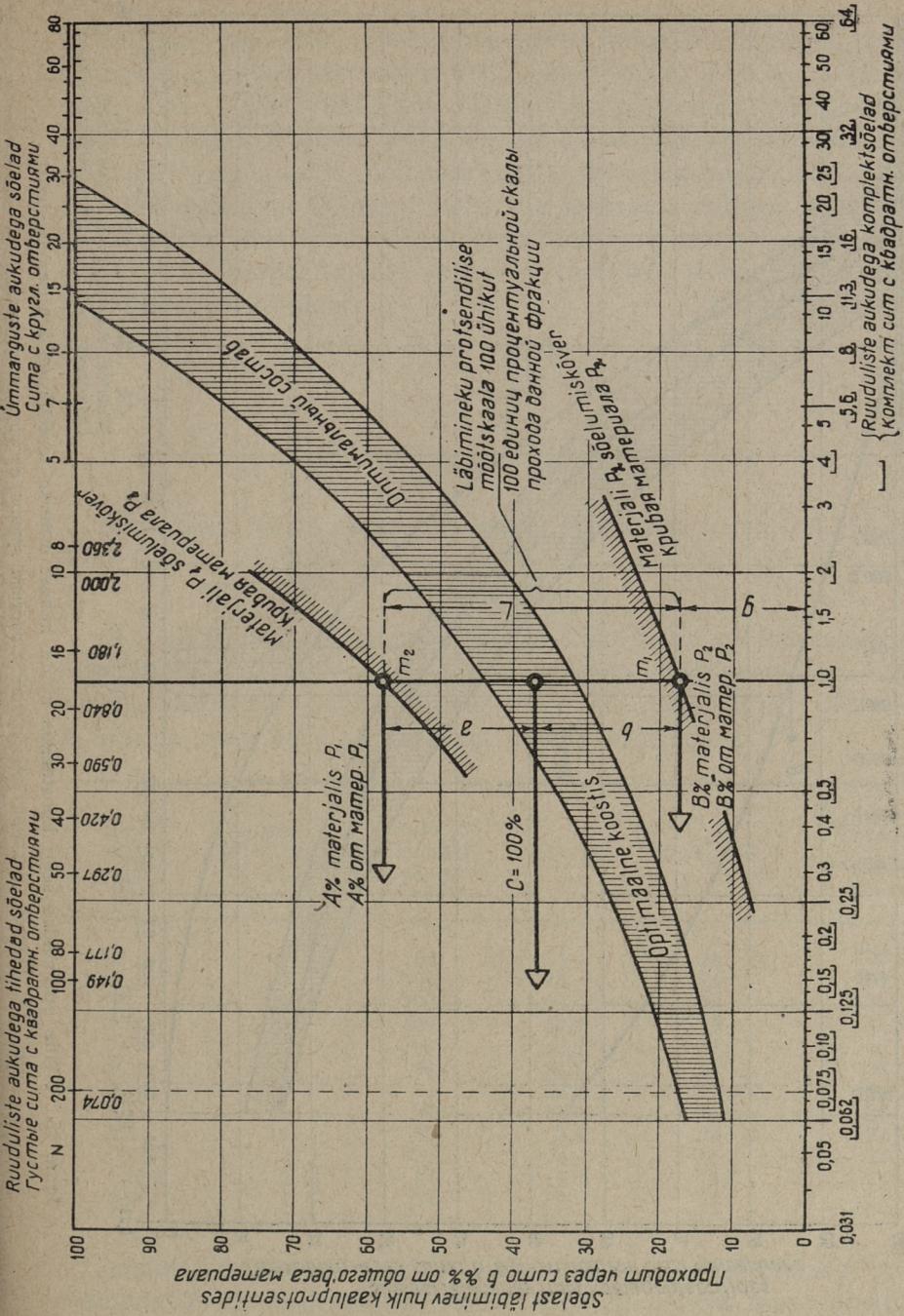
Sellest järgneb, et  $A \cdot L = C \cdot b$  ja  $B \cdot L = C \cdot a$ ,

$$A = \frac{C \cdot b}{L} = \frac{100b}{L} \% \text{ ja } B = \frac{C \cdot a}{L} = \frac{100a}{L} \%.$$

**Näiteid hea kattematerjali koostamisest sõelumiskõverate abil.**

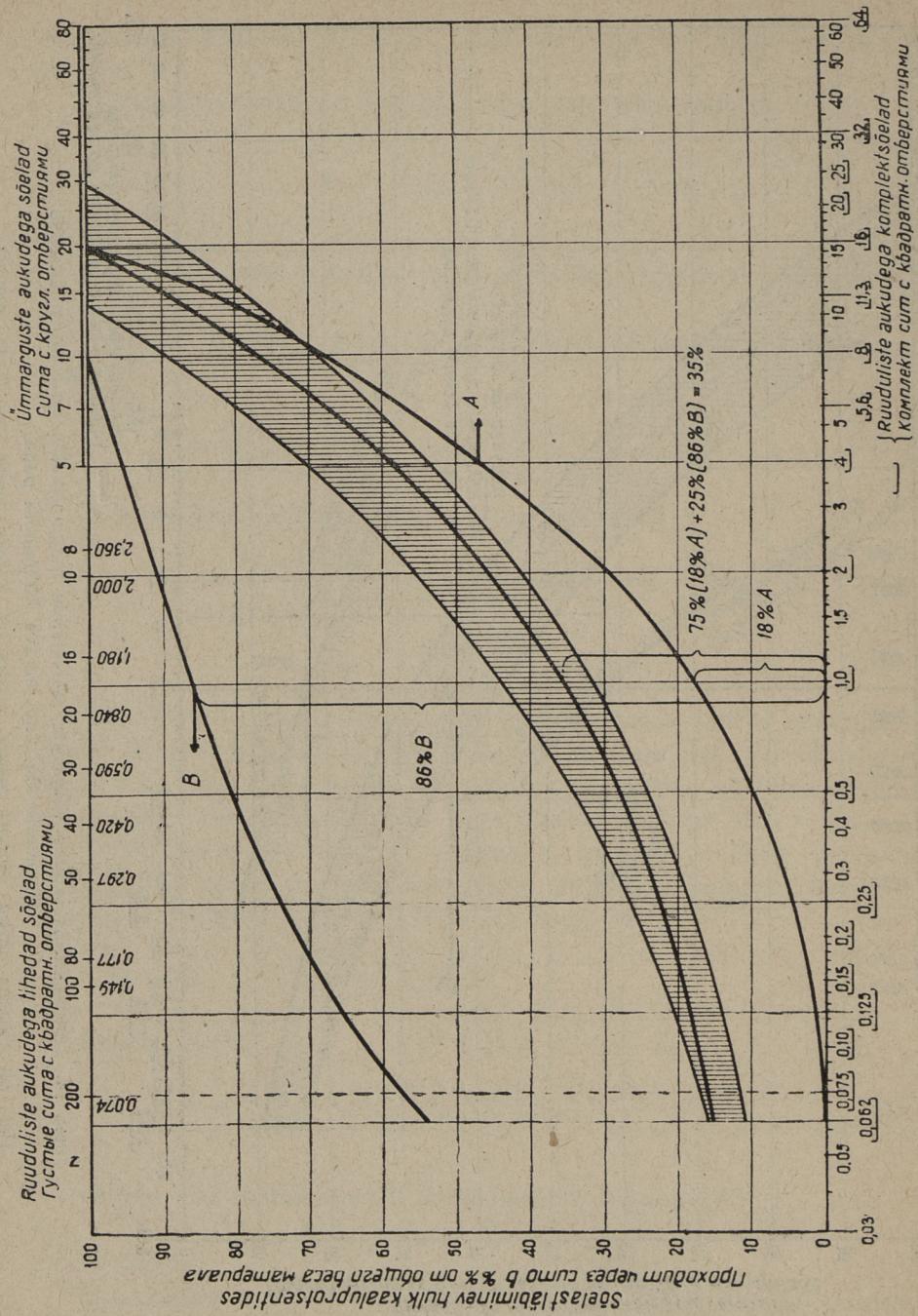
Näide 1.

Soovitakse koostada teekatte materjali kahest karjäärikruusast, millede sõelumiskõverad on kantud diagrammile (joon. 15).



Joon. 14. Optimaalseks seguks võetavate materjalide hulga arvutus tasakaulumomentide võrrandite abil ühe teatava fraktsiooni puhul.

Рис. 14. Годбор оптим. состава гравия, исходя из условия равновесия составляющих  $\rho_{\text{HC}}$ .



Joon. 15. Näide optimaalse segu koostamise kohta kahest erineva terastikuga kruusamaterjalist.

Рис. 15. Пример подбора оптимального состава гравия из двух исходных.

Lähtume segu osiste kaaluprotsendilise hulga koostamiseks näiteks 1-mm auguga sõela läbinud fraktsioonidest. Nagu joonisest 15 selgub, läbib kruus *A* sõela, mille aukude läbimõõt on 1 mm, 18% -lises koguses, kuna kruus *B* läbib sama sõela 86% -lises koguses. Soovime saada optimaalset segu, mille sõelumiskõver asuks sama fraktsiooni ordinaadil 35% tähistaval kõrgusel. On vaja määräta, millises vahekorras tuleb kruusa *A* ja *B* segada, et segu läbiminek 1-mm auguga sõelast oleks 35%. Eespooltoodud valemeid kasutades saame, et kruusa *A* hulk segus peaks olema:

$$A = \frac{100b}{L} \% ; A = \frac{100(86-35)}{(86-18)} = 75 \% \text{ ja}$$

$$B = \frac{100a}{L} \% ; B = \frac{100(35-18)}{(86-18)} = 25 \% .$$

Seega peab valitav segu koosnema, otsustades 1 mm fraktsioonide järgi:

$$75\% A + 25\% B.$$

Et analüütiliselt lahendada küsimust, kuhu satub valitud vahekorras segatud materjali kõverjoon sõelumiskõvera diagrammil, korrutame mõlema materjali sõelumisandmed vastavate protsentidega (75 ja 25) ja liidame need, nagu alljärgnevas tabelis on esitatud.

Sõelte augud mm	Kruusa <i>A</i> läbimineku % sõelast	Kruusa <i>B</i> läbimineku % sõelast	75% <i>A</i>	25% <i>B</i>	Segu 75% <i>A</i> + 25% <i>B</i> läbiminek sõelast
25	100	100	75	25	100
20	100	100	75	25	100
15	84	100	63	25	88
10	70	100	52,5	25	77,5
7	58	98	43,5	24,5	68
5	46	96	34,5	24	58,5
2	30	90	22,5	22,5	45
1	18	86	13,5	21,5	35
0,5	10	80	7,5	20	27,5
0,25	5	73	4	18	22
0,125	2	64	1,5	16	17,6
0,062	1	53	1	13	14

Joonestanud viimases lahtris tähendatud segu läbimineku %-des sõelumiskõvera diagrammille, saame segu koostisest täpsuse graafilise kujutise, nagu see on tehtud joonisel 15.

Paigutub saadud segu sõelumiskõver „optimaalse kruusasegu sõelumiskõverate väljale”, siis on meie ülesanne lahendatud. Kulgeb aga saadud teoreetilise, ühe fraktsiooni järgi määratud segu kõverjoon mõnes kohas „optimaalsest väljast” eemale, siis tuleb segu tarvis võetavate osiste (komponentide) vahekord määrata nende fraktsionide (terasuuruste) juures, kus toimub „väljahüpe”; segamise lõplikuks protsendifiks tuleb võtta keskmise protsent, mis on saadud mitme terasuuruse järgi.

Üldiselt määratakse segatavate materjalide protsendifiline vahekord mitte ainult ühe või kahe fraktsiooni (terasuurus = sõela kvadraatse aulguga) juures nende kaaluprotsentide järgi, vaid mitme fraktsiooni ordinaatide järgi, ja lõplikuks segamisprotsendifiks võetakse aritmeetiline keskmise neist arvutatud protsentidest, nii komponendi *A* kui ka *B* suhtes.

#### Näide 2.

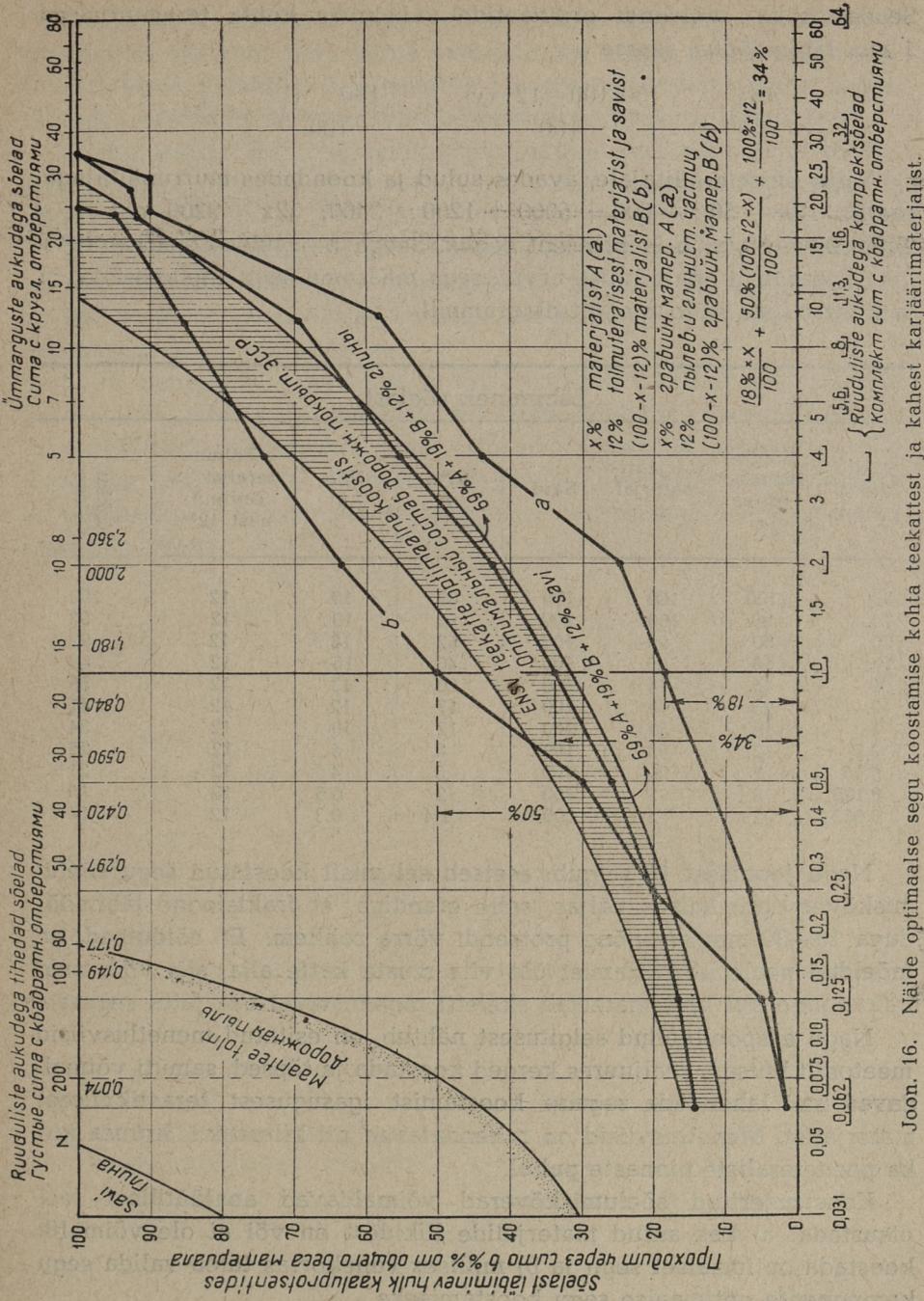
Kruusateel kavatsetakse teostada kapitaalremonti, kattes sõidutee pinna kruusa optimaalsele terastikulisele koostisele vastava kattematerjaliga. Võttes olemasolevast sõidutee kattematerjalist kui ka kasutada mõeldud kruusakarjärist vastavad proovid, selgub, et teekatte olemasoleva materjali sõelumiskõver asetseb sõelumiskõvera diagrammil *a*-ga tähistatud joonel ja karjäärimaterjal joonel *b* (joon. 16). Analüüsides nende sõelkõverate asendit diagrammil, selgub, et kumbki sõelkõver ei asetse optimaalse sõelkõvera piirses väljas, ja niihästi teekatte - kui ka karjäärimaterjal ei sisalda vajalikul hulgal peeneteralisi fraktsioone. Selle tagajärjel puudub kattematerjalis nõutav nidusus ja sõidutee pinnale tekivad löökaugud. Kogemuste põhjal oleks vaja niisugusele segule juurde lisada tolmuteralist ja savist pinnast 12%.

Millises vahekoras neid kolme materjali segada, võib lahendada samuti eespooltoodud näite ja valemite abil, kuid menetlusviiside rikastamise eesmärgil olgu toodud veel teine, täiendav arvutusviis.

Kui segu koostamiseks valime 12% tolmuteralist ja savipinnast ning  $x\%$  olemasoleva teekatte materjali *a*, siis on karjäärist juurdeveetava materjali *b* hulk

$$\frac{100-12-x}{100}.$$

Sõelumiskõvera diagrammist selgub, et 1-mm läbimõõduga fraktsioone teekatte materjalis *a* on 18% ja karjäärimaterjalis *b* 50% ning savis 100%. Kogu segus aga peaks olema 1-mm läbimõõduga teri 34%.



Joon. 16. Näide optimaalse segu koostamise kohta teekattest ja kahest karjäärimaterjalist.

Рис. 16. Пример выбора оптимального состава гравия из трех составляющих.

Seades kokku võrrandi ordinaatide vahekorra kohta terasuurusega 1 mm läbimõõdus, saame

$$\frac{18x}{100} + \frac{50(100-12-x)}{100} + \frac{100-12}{100} = 34.$$

Viies ühisele näitajale, avades sulud ja koondades murrunäitajaga, saame  $18x - 50x - 600 + 5000 + 1200 = 3400$ ;  $32x = 2200$  ehk  $x = 2200 : 32 = 69$ , s. o. a protsent segus. Seega  $b = 100 - 12 - 69 = 19\%$ .

Alljärgneva analüütilise arvutusega määrame segu sõelumiskõvera ja kontrollime selle asendit diagrammil.

Läbiminek sõelast							
Sõelte augud mm	Sõidute materjal a	Karjääri-materjal b	Savi	69% a	19% b	Tolmuteralist ja savipinnaast 12%	Kokku %-des
30	100	100	100	69	19	12	100
25	90	100	100	62	19	12	93
20	90	95	100	62	18	12	92
10	58	85	100	40	16	12	68
4	45	74	100	30	13	12	55
2	25	63	100	17	12	12	41
1	18	50	100	12	10	12	34
0,5	12	30	100	3	5	12	25
0,25	7	20	100	5	4	12	21
0,125	3	3	100	2	0,6	12	15
0,062	2	2	100	1,4	0,3	12	14

Nagu joonisest 16 selgub, asetseb sel viisil koostatud segu sõelumiskõver optimaalses väljas, selle erandiga, et fraktsioone läbimõõduga 10—30 mm on mõne protsendi võrra rohkem. Et sõiduteed on mõeldud peale korrapastamist üle viia musta katte alla, siis võib neid fraktsioone kui kattematerjali skeletti moodustavat osa jäätta segusse.

Nagu eespooltoodud selgitusest nähtub, on esitatud menetlusviisid meetodilt lihtsad, sealjuures kerged koostada ja täpsed, samuti võimaldavad nad lahendada segude koostamist igasugusest terastikulisest materjalist. Menetlusviisid on rakendatavad nii killustiku, kruusa kui ka peeneteraliste pinnaste puhul.

Konstrueeritud sõelumiskõverad võimaldavad analüütisel teel otsustada: a) kas antud materjalide liikidest on või ei ole võimalik koostada optimaalset segu ja b) millises vahekorras tuleb valida segu komponente optimaalse segu koostamiseks.

Diagrammil kujutatud materjalide sõelumiskõverad võimaldavad hinnata ka üksikute materjalide kvalitatiivset külge; nende asend sõelumiskõveral võimaldab aga määrata komponentide omavahelist suhet, lähtudes vääristamise ja transportkulude ökonomiaseisukohalt.

Sõelumiskõverate diagrammi logaritmiline alus võimaldab materjalide kvaliteedi määramisel vabalt ühelt sõelte komplektilt teisele üle minna.

Eeltoodud menetlusviis loob ühtlased alused mitmesuguste segude projekteerimisel sõltumata fraktsioonide hulgast ja komponentide arvust, seega on need alused kasutatavad ka tsementbetoon- ja asfaltbetoonsegude projekteerimisel.

Selle menetlusviisi kasutamise kiirust töstab trükitud diagrammide kasutamine, millele optimaalsete koostiste sõelumiskõverate väli on juba trükitud. Sõelumiskõverate diagrammi trükitud blankette saab kasutada ka kehtivate tehniliste tingimuste ja normide graafiliseks kujutamiseks mitmesuguste terastikulise kootseisuga materjalide ja koostiste puhul.

## V PEATUKK.

### PRAKТИЛИСИ JUHENDEID ОПТИМААЛЬСЕ ТЕРАСТИКУЛИСЕ КООСТИСЕГА КАТТЕМАТЕРДАЛИ КАСУТАМИСЕКС КРУУСАТЕЕДЕ КОРРАШОИУЛ.

Nagu analüüsimal on selgunud, koosneb lainehari peamiselt hästi sorteeritud peeneteralisest liivast.

Kattematerjal, mis sisaldab teri seesuguses suuruses, et 50% üldmahust läheb läbi 1-mm sõela ja  $\frac{2}{3}$  üldmahust läheb läbi 2-mm sõela, tekitab oma omadustelt kergesti laineid.

Kruus, mille koostises on umbes 50% 12,5-mm aukudega sõelast läbiminevat materjali, ei ole lainete suhtes tundlik ja mõjub tasandavalt varem lainetusse kaldunud kattepinnale.

Neutraalne on selline kruus, millest 50% teri läbib 2-mm läbimõõduga sõelaaugu.

Selline kruus ei soodusta ega takista lainete tekkimist. Lainete tekkimist ei ole karta, kui 50% kattematerjali üldmahust läheb läbi sõela, mille aukude läbimõõt on 4 mm. Keskmiseteraline kruus terade suurusega kuni 15 mm on heaks kattematerjaliks, kui ta sisaldab mitmesuguse suurusega teri, küllaldaselt liiva ja ka savi.

Kord sõiduteele õiges koostises asetatud kruus ei jäää sellisena püsima. Peened osad kannavad vesi ja tuui ära, kuna jämedad, eriti aga lahtised terad peenenevad liikluse mõjul.

On vaja perioodiliselt võtta teepinnast materjali proove ja sõelumise tulemusi võrrelda „optimaalsega“.

### КРУУСАТЕЕ ОЛЕМАСОЛЕВАТЕ КАТЕТЕ ПАРАНДАМИНЕ.

I juhtum: sõidutee pind on porine. (Põhjuseks, kas külmakerge või rohked sademed.)

Võtta sõidutee pinnast proovid, läbi sõeluda ja kanda andmed sõelumiskõverate diagrammile ning diagrammi abil selgitada puuvad kruusa fraktsionid.

Tavaliselt puudub sel juhul jämedateraline kruus. Teepinda vastavas osas parandada niisuguse kruusaga, milles on teri läbimõõduga 4—16 mm vähemalt 50%. Kruusa segada sõidutee pinnasse rehade, randaalide või höövlitega.

II juhtum: sõidutee pind on kivikesterikas.

Sõidutee pind tuleb üles kunda, suuremad kivikesed kõrvaldada ja juurde lisada neid fraktsioone, millede puudumine on analüüsime teel kindlaks tehtud sõelumiskõverate diagrammi abil.

III juhtum: sõidutee pinnas on löökauke.

Väiksemaid löökauke tuleb parandada „optimaalsele“ koostisele vastava kruusaga, kuid sideaine (savi-) sisaldus peab tavalisest suurem olema.

Hööveldamist ette võtta siis, kui sõidutee pind muutub ebataseks või kui on vaja vastpaigutatud kattematerjali sõiduteel tasandada.

On teepinnas sügavamat löökaugud, siis tuleb teepinda enne hööveldamist lappida.

Kui teostada teepinna hööveldamist, siis teha seda sel määral, et teepind ei oleks ainult näiliselt tasane, vaid et lainetus oleks kogu „juurtega“ kõrvaldatud. Selleks on sobiv kas varajane kevad või kestev vihmaperiood. Kruusatamine võtta ette sademeterohkemal ajal sügisel, kevadel aga kohe peale lume sulamist.

Kattematerjali tuleb enne teelee asetamist laboratoorselt uurida ja koostada vastavad sõelumiskõverad. Savi võib sideainena kruusasse asetada kas vedeldatud kujul või kuivatatult ja pulbriks tambitult. Kattematerjali segamine teepinnal võib toimuda kas höövliga, randaaliga või rehadega.

Teele asetatud kruusa on soovitav komprimeerimise otstarbel rullida. Rullimist toimetada, kui kruus on optimaalselt niiskes seisukorras.

Kruusakihi paksus sõiduteel peab olema tihedas kehas 6—10 sm, mis vastab kobeda kruusakihi 8—15 sm paksusele. Rullimist tuleb lugeda lõpetatuks siis, kui rulli esimese ratta ette ilmuv laine muutub nähtamatuks ja kui jalaga kattesse vajutamisel ei teki kruusaterakeste liikumist.

Küsimusel, kui paksult võib jooksva korrasliu teostamisel teepinda ühekordsest kruusaga katta, vastaksin, et seda tuleb sel määral teha, et autoratas jätkas teepinna kattematerjalisse ainult protektori jälgje. Hea kruusatee pind on kujutatud joonisel 9.

## VI PEATÜKK.

### KATTEMATERJALI STABILISEERIMISE SENISTEST KATSETEST.

Tehnilis-majanduslikust seisukohast lähtudes on kruusateede paremuseks nende ehitusviisi lihtsus ja odavus ning odav ja kerge korras hood, vaadeldes neid aga tervishoiu, liiklemise ohutuse, mehhansimide kuluvuse ja sõidumugavuse seisukohalt, leiame siin mitmeid kaaluvaaid pahesid.

Suuremaid kruusateede pahesid on tolmu tekkimine.

Kui sõidutee materjal on kuiv ja asub lahtiselt teepinnal, siis tõstab tuul kattematerjali peened osakesed õhku. Tekivad „tolmupilved“. Sademete puhul uhub aga vesi kattematerjali osi teepinnalt. Peente terakeste osaline juurdekasv teepinnal võib toimuda teekattematerjali suurenemise ja kulumise arvel. Üldiselt toimub katte kulumine pidevalt.

Kruusateede kattematerjali kuluvust on uuritud köikjal. Uurimuste andmeil on sõidutee äastane kuluvus 25 mm, kui liikluse intensiivsus on 200—300 veokit ööpäevas, 500 veoki puhul on kuluvus aga 25—38 mm aastas.

NSV Liidu tuntuim teedeala uurija Stalini preemia laureaat, professor tehniliste teaduste doktor N. N. Ivanov püstitas paekivist killustiktee aastase kulumise kohta valemi:

$$E_{(sm)} = \frac{LT}{100},$$

kusjuures  $T$  on tee koormus ööpäeva kohta tonnides ja  $L = 0,20—0,25$ .

Seega kannavad tuul ja vesi iga aasta meie maanteedelt ära umbes 25—30% sõiduteele asetatud kruusast, tekitades suurt rahvamajanduslikku kahju.

Peente terade olemasolu kattematerjalis tolmu ja savi näol on selle siduvuse seisukohalt tarvilik.

Probleemiks jäääb küsimus, kuidas siduda peened terakesed kattematerjalis, et ei esineks nende kadu ei atmosfääriliste tingimuste ega ka jõuvankrite liiklemise mõjul maanteedel.

Vastusena tuleb mainida, et tolmuterakeste kadu vältida ja seega ka tolmamise vastu võidelda saab peale veega niisutamise veel kattematerjali stabiliseerimise teel orgaaniliste ja mineraalse teideaineidega.

Et sõidutee kattematerjali stabiliseerida ja muuta see ka kestvamalt tolmuuvabaks, on varemalt aegadel jäädud eeskätt peatumägi hügroskoopiliste soolade, s. o. selliste kemikaalide juurde, millistel on omadus imeda endasse õhus leiduvat niiskust ja seda üle anda oma lähemas ümbruses asetsevaile teekattematerjali teradele.

Tähtsamad neist on kloorkaltsium, kloormagneesium ja naatrium-sulfaat. Neid aineid puistatakse sõidutee pinnale kas helvetena või jahvatatult.

Järgmisest liiki kuuluvad niisugused tolmu vastu võitlemise vahendid, mis sõidutee pinnale valatult tungivad materjali terakeste vahelle ja kleebivad need ühtsekš vaipkatteks kokku. Sääraseste ainete hulka kuuluvad sulfiteelis, tõrv ja bituumen ning viimasest valmistatud emulsioonid ja õlid.

Et jõuda selgusele tolmu vastu võitlemise vahendite otstarbekohasuses meie oludes, olen teostanud rea katseid ja uurimisi sel alal.

Alljärgnevalt olgu toodud neist ainetest lühikokkuvõte.

Katsed õliemulsioonidega (õlihulk  $0,396 \text{ kg/m}^2$ ) andsid kuigi mitte täiel määral tolmuvaba teepinda, näitasid aga siiski rahulda vaid tagajärgi.

Teealadel, mis olid kaetud vähema hulga emulsiooniga, polnud tee tolmust vabaoleku aeg nimetamisvärne.

Tehtud katsete põhjal võib järeldada, et rahulda vaid tulemusi õliemulsioonide kasutamisel saavutatakse siis, kui emulsioonihulka suurendada.

Õliemulsiooniga kaetav sõidutee pind peab olema tihe, tasane ja õige põikprofiiliga.

Kloorkaltsiumi, emulsiooni, maanteeõli ja sulfiteelisega tehtud katseist võib järeldada, et kõige paremaid tagajärgi seniseil katseil andis kloorkaltsium.

Ölikate ei takista sademete puhul vee tungimist aluspinda, küll aga takistab niiskuse auramist teekattest. Tolmuõliga — põlevkivi raske õliga — kaetud teealasid ei saadud hõöveldada.

Sulfitleelisega tuli sõiduteed katta korduvalt; selle ainega immutatud katet võis hõöveldada ainult märjal ajal.

Katmisel sulfitleelisega omandas teepind peale äraauramist kõva läikiva ja värvitu katte. Et selline kate püsiks kestvalt, peab alus olema kõva ja kattematerjal tihe. Kattes olev sulfitleelis sulab sade mete puuhul, kuid kõveneb hiljem teepinna kuivamisega.

Kloorkaltsium võimaldas sõidutee pinda kruusatada igal ajal ja ei takistanud hõöveldamist.

Katsed näitasid, et neutraliseerimata sulfitleelise tarvitamisel roostetasiid kõik tööabinõude metallosad. Sulfitleelist võib aga neutraliseerida kustutamata lubja juurdelisamisega 1,5—2% lises koguses kaalu järgi. Kirjanduse andmeil mõjub sulfitleelis desinfitseerivalt, omades seega ka tervishoidlikku tähtsust.

Kloorkaltsiumi kasutamisel oli negatiivseks küljeks asjaolu, et pidevate vihmade puuhul, eriti aga sügisel, muutus teepind poriseks ja libedaks. Seda võib seletada sellega, et sõidukite rataste all tolmuterakesteks purunenud kattematerjal ei saa alatise niiskuse tõttu tee pinnalt kaduda ja teda koguneb aegade jooksul sinna suurel hulgul. See oletus ei ole aga autori poolt lõplikult tõestatud.

Poriseks ja libedaks muutunud sõidutee pinda võib karedamaks muuta kas kruusa juurdepuistamisega või pinda peenkillustikuga kattes.

Kloorkaltsium mõjub kahjulikult asfaltemulsioonidele ja samuti kuumalt tarvitatud asfaltainetele. Kloorkaltsium lahustab asfaldi ja niiskele pinnale valatud kuum asfalt ei ühine pinnaga küllaldaselt.

Kloorkaltsiumi lahustavat mõju asfaltemulsioonile püütakse sele tada sellega, et kloorkaltsium imeb endasse osa emulsioonivett, mille tõttu kaob tasakaal ja aines tekib järsk koaguleerumine. Koaguleerumisel ei saa aine tungida terakeste vahele ja side nõrgeneb. Järsu koaguleerumise puuhul jäääb emulsioon sõiduteel põhjalikult sidumata ja lamab nagu vaip tee pinnal.

Kloorkaltsiumi vett-imav omadus jäääb paremaid tulemusi takistavaks teguriks ka siis, kui katame teepinna kuuma asfaldi, bituumeni või tõrvaga.

Sulfitleelis on oma omadustelt sugulane tõrvaproductidega. Ta ei ima vett ja ei takista seega tõrva ega asfaldi tarvitamist.

Seda ei saa aga öelda kuiva sulfitleelise kohta, sest sel, nagu kloorkaltsiumilgi, on teatav elektrolüütiline, koaguleerumist kiirendav mõju asfaltemulsioonidele.

VII PEATUKK.

**PÖHIMÖTTELISI SEISUKOHTI SÖIDUTEE PINNA KATTE-MATERJALI STABILISEERIMISEKS TULEVIKUS.**

Mitte üksi võitlus tolmu vastu ei põhjusta tolmutörjehendite, nagu bituumensideainete, nendest valmistatavate emulsioonide, sulfiteelise ja kloorkaltsiumi kasutamist maanteeadel. Olulisema tähtsusega on küsimus — millega stabiliseerida meie kruusa- ja pinnasteid, et nende teekatteid ette valmistada ümberehitamiseks mustkattega tee-deks. Kui pinnata olemasolevaid kruusateid bituumeniga või töödelda maanteid põlevkivist valmistatava raskeõliga, siis kattub sõidutee pind õlikihiga nagu vaipkattega, ja niisugust katet pole enam võimalik hööveldamise teel korras hoida. Ei järgne aga õliga töödeldud tee-dele lähemail aastail permanentsete katete ehitamist, muutub sõidutee pind, hoolimata sellekohast korras, pikapeale laineliseks ja ebatasaseks, sest aastate jooksul teostatav tee korras hoidi järgnematel pindamistega süvendab veelgi ebatasasuste tekkimist sõiduteele.

Teistsugune on sõidutee pinna seisukord siis, kui kruuskatte stabiliseerimist teostada niisuguse bituumensideaine, mis takistaks kattematerjali peente terakeste eraldumist sõiduteest tolmu näol, kuid võimaldaks endiselt tasandada sõiduteed hööveldamisega ning ei takistaks sõidutee kattekihisse sattunud üleliigse vee aurumist. See asjaolu on põhilise ja määräava tähtsusega meie kruusateede stabiliseerimisel orgaaniliste sideainete ning kruusateede ettevalmistamisel üleminekuks permanentsetele katetele. Soovitud omadusi võiks loota bituumenemulsioonidelt nende kasutamisel kruusateede tolmutörjehendina. Kui kasutada kruusateede töötlemisel nõutavate omadustega bituumenainet, siis on võimalik alal hoida senist teede korras hoidi viisi, s. o. tasandada sõidutee pinda hööveldamise teel, saavutada kokkuhoidu kruusamaterjali kulus, muuta kruusateed tolmuvabaks ja teatalval määral ka veekindlaks. Peaks hiljem järgnema

ühe või teise teeala üleminek asfaltkattele, siis on sellega loodud kohane alus uue teekatte jaoks.

Järelikult tuleb kruusateede stabiliseerimisel saavutada nidusus kattematerjalis leiduva vee pindpinevuse arvel ja katteveekindlus agregaadi terakeste grupikeste bituumeniga ümbritsemise teel kaitseks vee edaspidise sissetungimise vastu.

Seega on bituumensideaine ülesandeks stabiliseeritavas teekattes mitte viimase nidususe tõstmise, vaid kattes vee pindpinevuse arvel saavutatud nidususe alalhoidmine. Sel viisil stabiliseeritud kattematerjaliga töödeldud teekatteid on ka edaspidi võimalik hööveldamise teel korras hoida, kuni need kaetakse permanentsema teekattega.

## VIII PEATÜKK.

### ULEMINEK MAANTEEDE KRUUSKATETELT BITUUMENSIDE-AINEGA STABILISEERITUD TEEKATETELE.

Maanteede kruuskatetelt bituumeniga stabiliseeritud katetele ülemineku üheks viisiks on kruuskatete töötlemine bituumensideainetega, segades sideaineid kohal tee peal. See meetod on kõige paremaid sõidutee kandevõime ja tema ilmastikukindluse tõstmise viise.

A. Teekatte töötlemine segamisega tee peal võib toimuda pinnasteedel ning kruuskattega ja killustikkattega maanteedel, niihästi uutel, ehitatavatel kui ka olemasolevatel teedel.

Segamist maanteel peab toimetama suvel kõige kuumemal ajal ja segamine tuleb lõpetada seesuguse ajakalkulatsiooniga, et kuni õhu-temperatuuri langemiseni alla  $+10^{\circ}\text{C}$  või kuni vihmaperioodi alguseni jäääks küllaldaselt aega (2—3 nädalat) teekatte komprimeerimiseks ehk tihendamiseks.

Teekatte ehitamisel segamisega tee peal võib olenevalt tarvitata-vast kruusamaterjalist esineda kolm juhtu:

1) mustkatteks muretsetakse kogu ulatuses uus kruusamaterjal ja seda juhul, kui olemasolev kruuskate on õhem kui 13—15 sm.

2) Mustkatteks kasutatakse osaliselt uut kruusamaterjali ja osaliselt võetakse seda vanast teekattest, kusjuures viimast tuleb kobestada (üles kiskuda).

3) Mustkatteks kasutatakse ainult vana teekatte materjali, viimast teest üles kiskudes.

Juhul, kui mustkatte aluseks kasutatakse vana, tihenenud kruuskatet, on tarvis peale sõidutee pinna profileerimist ja aukude lappimist teostada vana katte kruntimist, s. o. valada õhukese kihina veden lat sideainet tolmu sidumiseks ning anda aega sideaine imendumiseks. Erilise kleepunud kihina püsima jääv või mõnevõrra paksema kihina tehtud kruntimine on halb: säärane kruntimine põhjustab ehitatava mustkatte edaspidiseid libisemisi ja voltimisi.

Olemaisoleva kruuskatte kobestamist toimetatakse kobestajaga kuni projekteeritud sügavuseni, lähtudes sealjuures seisukohast, et selle kruuskatte paksusest jäeks ikkagi 13—15 sm püsima alusena uuele ehitatavale mustkattele. Ka vana kruuskatte üleskiskumise puhul tuleb profileeritud alust kruntida vedela sideaineega.

Vajalik teekatte profiili parandamine toimub kas kobestatud kattematerjali ümberpaigutamisega maanteel või aluse planeerimise kaudu (enne kruntimist).

Teekatete töötlemisel segamisega kohapeal tuleb kasutada vedelaid bituumeneid või teetõrvasid, kas külmalt või kuni 60—100° C soojendatud olekus. Kuumutamine üle selle temperatuuri, mis on vajalik sideaine takistamatuks väljavooluks gudronaatorist, on üleliigne.

Mustkatte ehitamine segamisega teel koosneb kruuskatete puhul, kas uue kruusamaterjali lisamata või viimase juurdelisamisega, alljärgnevatest tööprotsessidest: olemaisoleva katte puastamine, katte üleskiskumine, teeprofiili parandamine, vana katte kruntimine vedelaima bituumeniga, uue kruusamaterjali lisamine, bituumeni valamine mitmes voorus iga kord keskmiselt 2 l/m<sup>2</sup> kohta, materjalide esialgne segamine pärast igat valamist teehöövliga ja mikšeriga tehes kumbagi masinaga 2 käiku ühte jälge pidi, põhiline materjalide segamine tee-höövliga ja mikšeriga (võimas ripperitaoline sahk, koos tasandajaga) 20 kuni 30 käiguga ühte jälge mööda või tolmurikaste katete puhul 1½ korda enam käike, teehöövlitega segu planeerimine, andes tarviliku põikprofiili, rullimine keskmiste rullidega ja pärast segu tihenemist (2 nädalat pärast rullimist ja uue katte sõidu all olemist) teha pealispindamine.

Kõik mustkatte ehitamise tööd tulevad läbi viia välistemperatuuri mitte alla kui +10° C juures.

Teetõrva valamine toimub temperatuuri 100—120°C juures, kuna vedelbituumenit valatakse 60—90°C juures.

Mustkatte kinnirullimist toimetatakse 6—8 tn. rullidega, tehes seejuures 4—6 käiku ühte jälge pidi.

Teekatete ehitamisel segamisega maanteel tuleb sideaine valamist teostada mitmes järgus. Kui bituumenit on segu jaoks välja valatud optimaalsest hulgast mõnevõrra vähem, siis töödeldaval segul on kuiv ilme, s. o. kättevõetud materjaliproov laseb end panga muljudu, kuid ei määri käsi. Kuid vähemgi sideaine üleliigsus, võrreldes optimaalse hulgaga, on kohe märgatav: segu võtab rasvase ilme, ta käkerdub pankadeks, tema segamine on raskendatud. Sideaine üle-

liigsus rikub ära juba peaaegu valmis segu, sest rasvase segu parandamine on täiendavate segamiste tõttu suurte kulutustega seotud.

Sideaine valamist laialiaetud kattematerjali peale tuleb toimetada natuke, näiteks kummastki äärest 0,5 m võrra kitsamalt, kui on ettenähtud teekatte laius, sest segamisel toimub mõnevõrra materjalide laalipaiskumine.

Teekatte normaalseks paksuseks segamisega kohal (tee peal) võetakse 6—7 sm. Juurdelisatava kruusamaterjali maht arvutatakse, lähtudes tihenemise koefitsiendist 1,25—1,35.

Kui olemasolevat teekatet soovitakse mustkattega töödelda suuremas paksuses (näit. 8—10 sm), siis töötlemist segamisega teel toimetatakse kahes kihis. Sel juhul soovitatakse algul töödelda sideainega pealmise kihiga materjal ja see asetada teepeenrale ning siis asuda alumiise kihiga materjali töötlemisele. Pärast alumise kihiga töötlemist ja kinnirullimist tuleb pealmise kihiga valmismaterjal teehöövliga laotada töödeldavale teelaiusele ja peale tasandamist kinni rullida.

Segatud teekatte materjalide kinnirullimine ehk komprimeerimine toimub 7—8-tonniste mootorrullidega. Tihti kleepub rullimisel teekatte mineraalne materjal rulli rattaste külge, mispärast selle nähtuse kõrvaldamiseks tuleb rulli rattaid niisutada nafta või veega. Segatud mustkatte paremaks ja kiiremaks komprimeerimiseks soovitatakse tee rullimisel põuaperioodidel katet niisutada veega (2—3 l m<sup>2</sup> kohta). B. Kinnirullitud segatud mustkattekihi peal on üldiselt soovitatav, Eesti NSV-s tingituna kliimaoludest isegi nõutav, pealispindamise toimetamine sitkete bituumenisortidega. Töödeldud ja kinnirullitud mustkatte pealispinna kaanetamine kaitsekihiga on teekatte vastupidavuse otsustavamaid tingimusi. Kaitsekiht, s. o. pealispindamiskiht peab alusega (segamise meetodil saadud mustkattega) hästi seonduma. Pealispindamisega loodud kiht kaitseb teekatet niiskuse sissetungimise eest. Nimetatud pealispindamiskiht võib olla üsna õhuke, s. o. 0,5—1,5 sentimeetrit, sest selle katte kulumine on üldiselt väike. Pealispindamiseks peab bituumen olema sitkete ja mitte vedelate liigist ning pealispindamisele asutakse alles pärast segamisega saadud mustkatte komprimeerimist, s. o. 2—3 nädalat pärast mustsegu rullimist. C. Neid pinnaseid, mille koostises on üle 15% savi, ei ole soovitav töödelda mustkateteks segamisega kohapeal.

Sideaine peab olema küllalt vedel, et segamisel kruusamaterjali terakesi üleni katta, kuid samal ajal ta peab omama sidumisvõimet (nidusust), et pärast mustkatte tööde lõpetamist ja segu tihendamist kiirelt kruusamaterjali siduda. Neile tingimustele vastavad kõige

paremini vedelbituumenid (klassist A), millised tarduvad keskmise kiirusega.

Kruusamaterjalidele, millede koostised on märgitud numbritega I-a, II-a ja III-a, lisatakse sideainet 3—5,5% üldkaalust ning segamiseks kasutatakse vedelat bituumenit margiga AG-4 ja AG-5 (klassist A), mis tardub keskmise kiirusega, või teetõrva margiga D-3 ja D-4. Kruusamaterjalid koostisega IV-a vajavad sideainet 5—5,5% üldkaalust ning segamiseks kasutatakse vedelat bituumenit AG-4 või tee-tõrva D-3. Vähe savi- ja tolmu-fraktsioone sisaldavate kruusamaterjalide, s. o. koostiste I-a, II-a, III-a ja IV-a puhul on tarvis segamiseks kasutada ainult vedelaid keskmise kiirusega tarduvaid bituumeneid, sest neil on suur lõplik sitkus.

Kruusamaterjali koostisele I-b vajatakse sideainet 4—5,5% ja seleks kasutatakse vedelat bituumenit AG-4 või veetõrva D-3, samuti ka vedelat bituumenit klassist B, margiga BG-4, mis tardub aeglaselt. Kruusamaterjalide koostiste II-b, III-b ja IV-b puhul on sideaine kulu 4,5—7% ning segamiseks kasutatakse samuti vedelaid bituumeneid AG-4 või teetõrva D-3 või ka aeglaselt tarduvat bituumenit BG-4.

Sideaine kulu kõrgemad normid kasutatakse peeneteralistele segude puhul, milles tolmu- ja saviosakesi kuni 20% ning madalamad normid jämedateralistele segude puhul, milles vähe tolmu- ja saviosakesi.

Sideaine hulk teatud koostisega kattematerjali segu jaoks määratatakse laboratooriumis kindlaks katsekehade valmistamisega, milleks bituumenit võetakse erisugustes vahekordades.

D. Bitumen soendab kruusaterakesi seda enam, mida õhem on terakesi kattev bituumenile.

Liigne sideaine sisaldus teekattes kaitseb küll viimast vee kahjustavate möjude eest, kuid vähendab samal ajal teekatte mehaanilist tugevust: ilmnevad nihkumised ja vajumised, mis põhjustavad volte ja laineid teekattes.

Teekatte kandejõudu kindlustatakse kattekeha koostise optimaalse tihedusega. See kattekeha optimaalne tihedus määratatakse katsete abil laboratooriumis ja nimelt veega küllastumise protsessi kaudu. Veega küllastumise piirid musta teekatte (segamisega tee peal) katsekehade jaoks peavad olema: mitte vähem kui 1,5—2% mahust (kui on vähem, siis on segu liiga rasvane ja seega ebatugev) ning mitte rohkem kui 4% mahust (veeküllastuse puhul üle 4% on segu liiga urbne, temas on vähe sideainet).

Kruusakoostisse on tarvilik segada suurem hulk peeni fraktsioone — täidist, fillerit, et selle kaudu tunduvalt suurendada kruusaterade

külgpindasid ühes mõõtühikus ja saada bituumenile teradevahelises ruumis õhukest kihti — kilet. Nii saadakse teekatteks tihe ja tugev segu.

Rullimise ja sõitmise mõjul segu komprimeerub ehk tiheneb. Sademeteevee ärvool muldkehalt peab täielikult kindlustatud olema pikutkraavidega, samuti põhjavete kõrvaldamine mustkatte aluskihtidel vastavate drenaažide kaudu.

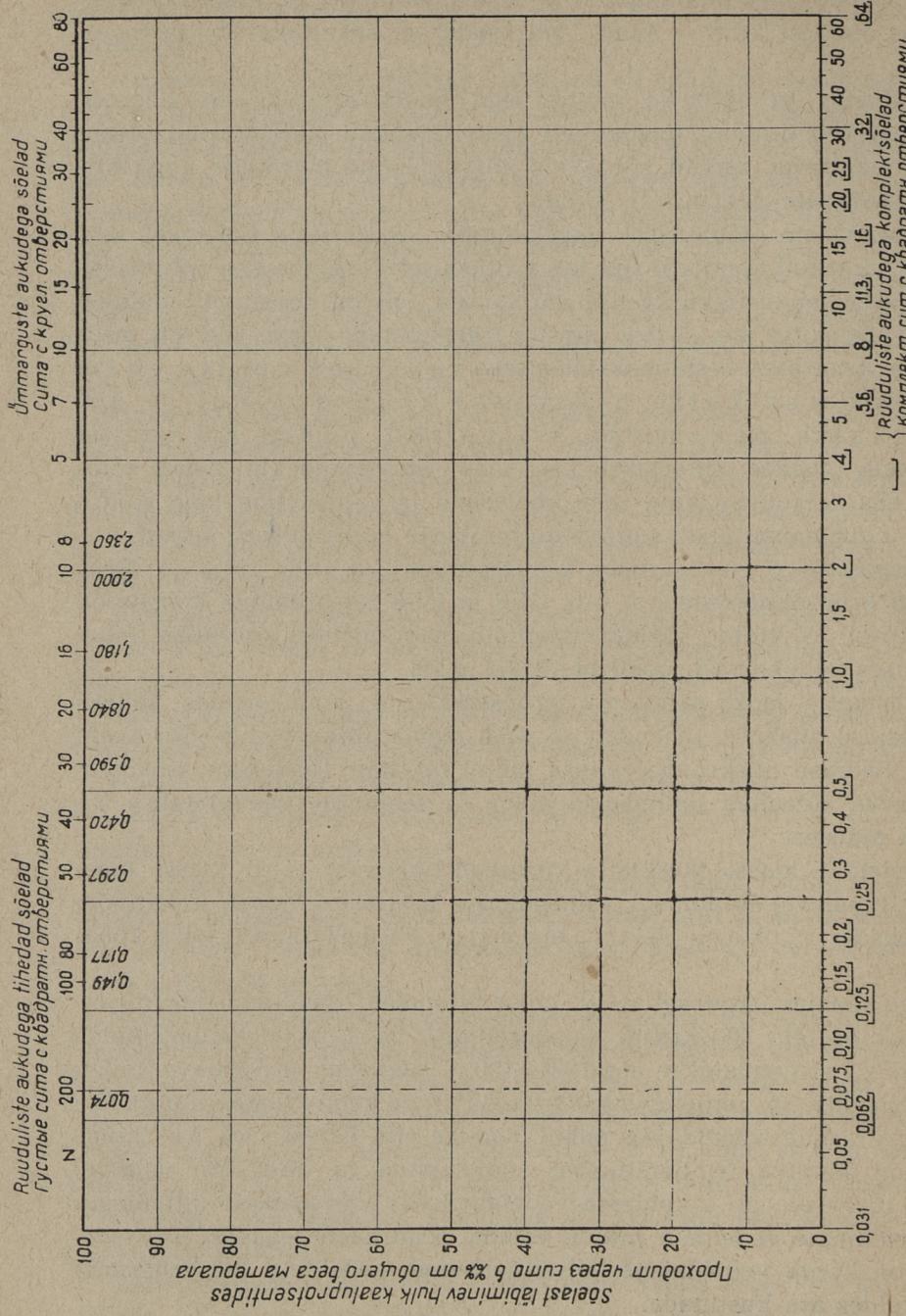
Kruuskatete töötlemisel mustkateteks segamisega kohapeal saadakse paremaid tagajärgi siis, kui töötlemiseks kasutatakse optimaalse koostisega looduslikku kruusa või kruusa, mis on koostatud nõuetele vastavate, mitte üle 25 mm olevate fraktsioonide järgi. Üldiselt määrratakse kruusaterakeste maksimaalseks suuruseks mitte enam kui 0,65 mustkatte paksusest kruusa puhul ja 0,60 mustkatte paksusest killustiku puhul. Kui kruusast mustkate tehakse materjalist, kus leidub suuremaid kui 25-mm terakesi, siis seesugune kate saab ebatasane ja vähem tihe ning sellise katte lagunemine algab suuremate terakeste eraldumisega segust.

Mustkatteks tarvitatavate kruusasegude I-a, II-a, III-a ja IV-a, samuti kruusakoostiste I-b, II-b, III-b ja IV-b terastikuline koostis on graafiliselt kujutatud sõelumisköverate diagrammides (võrguga, logaritmilises vahekorras) joonistel 17, 18 ja 19.

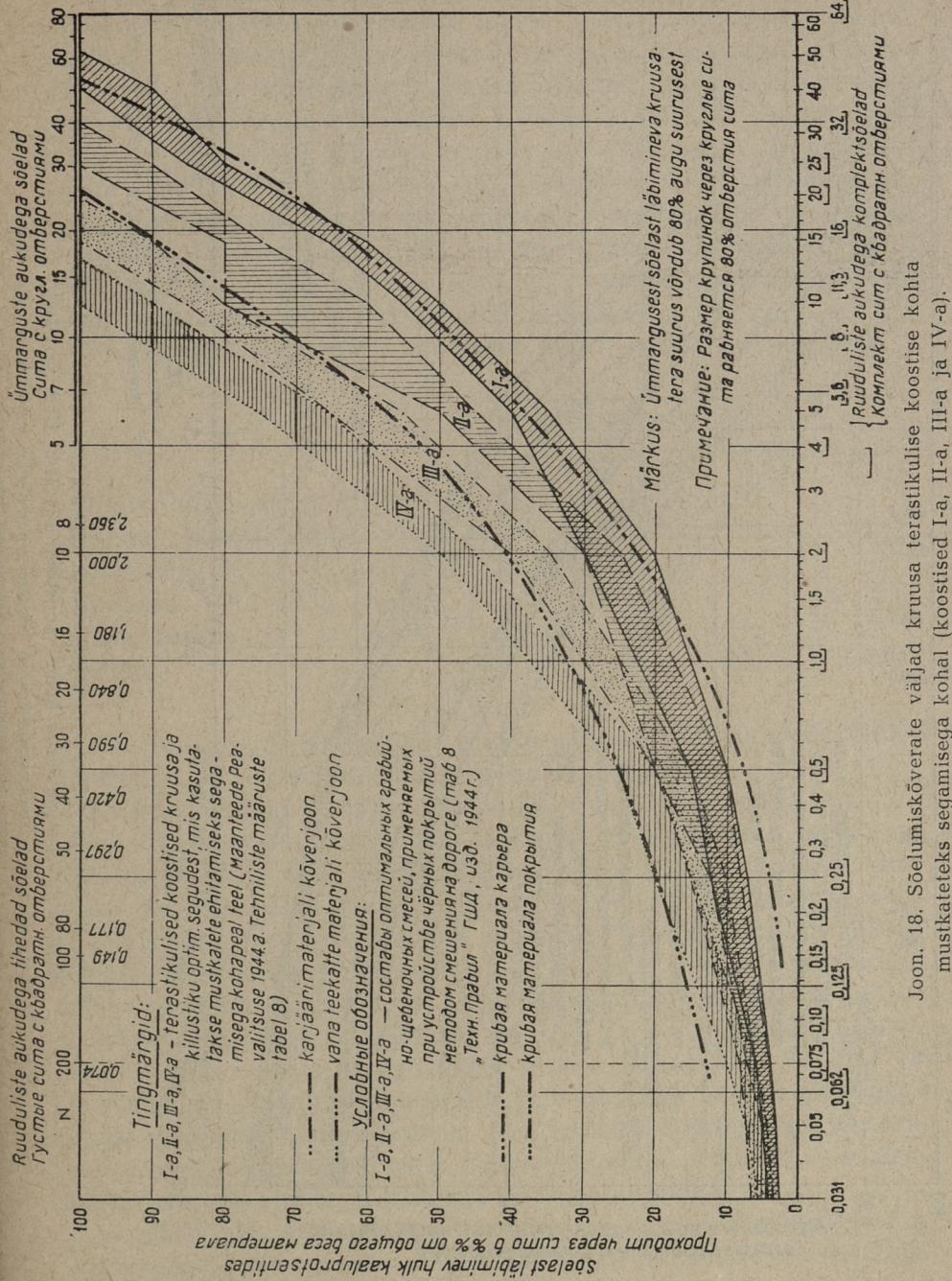
Mustkatte jaoks tarvitatav kruusamaterjal peab omama selleks optimaalse niiskuse, tähendab, ta peab olema niiskusega 2—5% kaalu järgi. Säärase niiskusega kruusa puhul tarvitab töödeldav mustkate bituumset sideainet optimaalse hulga ja seejuures säävutatakse ka parim nidusus.

E. Vedela A klassi (keskmise kiirusega tiheneva) ja B klassi (aeglaselt tiheneva) bituumeni valmistamise protsess kujuneb kokuvõetult üksnes sitkete bituumenite vedeldamiseks kohapeal.

See toimub järgmisel viisil: sitke bituumen (teebituumenid penetratsiooniga alla 200 kraadi temperatuuril 25° C ja pehmumistäpiga üle 25° C) soojendatakse algul 80—120° C olenevalt tarvitatava vedeldaja omadustest: kergete vedeldajate puhul on kehtiv temperatuuri aluminne ja raskete vedeldajate puhul ülemine piir. Pärast seda, kui bituumen on nõutava temperatuurini soojendatud ja hästi läbi segatud, tuleb ta valada eri kateldesse vedeldamiseks või samasse bituumeni soojendajassee vedeldaja juurde valada, segu hästi segades. Kui tege mist on kerge vedeldajaga, siis tuleb enne vedeldaja juurdelisamist tuli koldes ära kustutada.



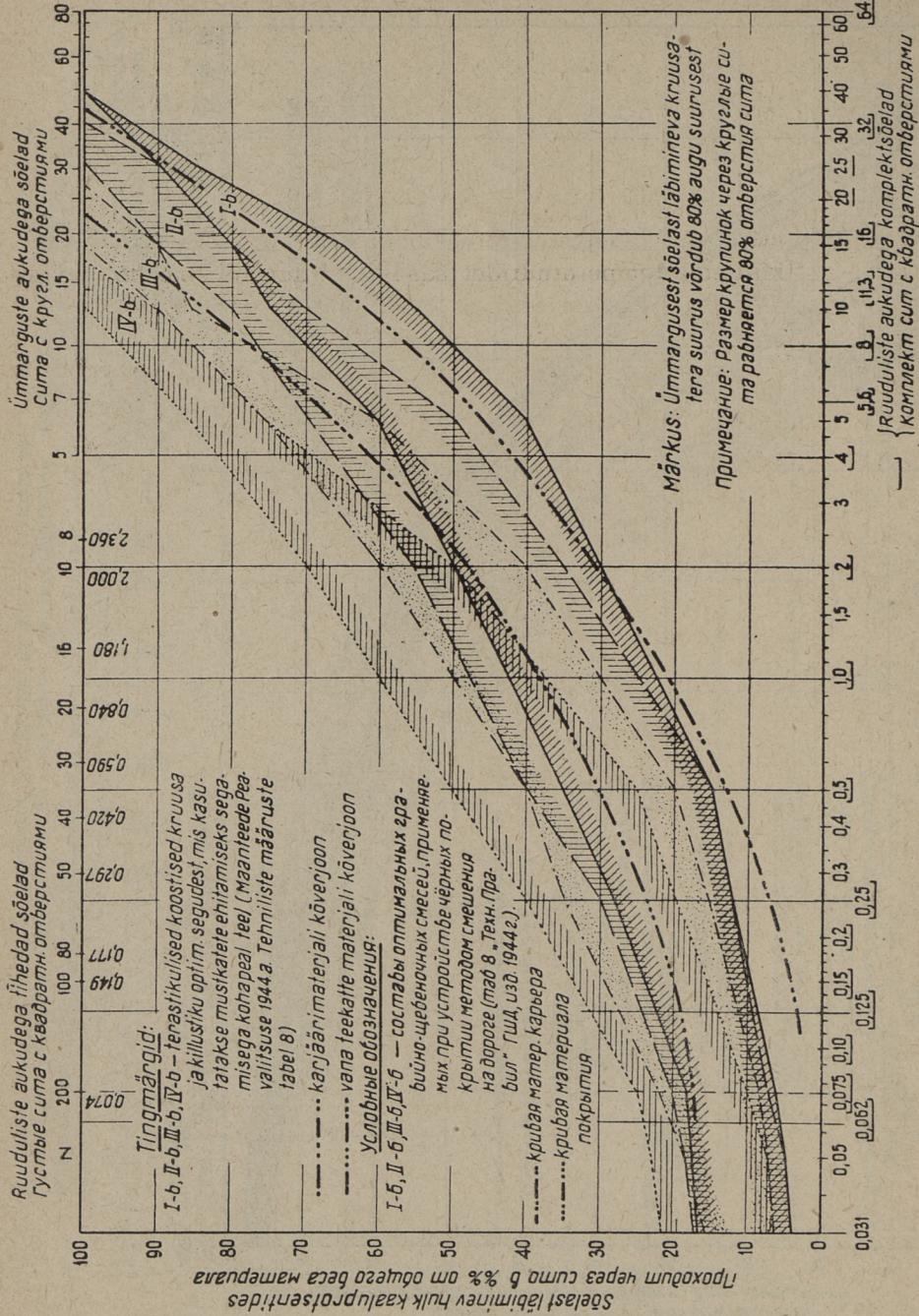
Joon. 17. Võrk kruusa sõelumiskõverate diagrammideks.  
 Рис. 17. Сетка диаграммы для нанесения кривых просеивания гравия.



Joon. 18. Sõelumiskõverate väljad kruusa terastikulise koostise kohta

mustkateks segamisega kohal (koostised I-a, II-a, III-a ja IV-a).

Рис. 18. Поля кривых гранулометрического состава гравийных материалов для чёрных покрытий смешиением на месте (составы а).



Sitke bituumeni ja vedeldaja mahulised vahekorrad määratakse laboratooriumis, lähtudes sellest, millist marki vedelat bituumenit olenevalt kruusamaterjalist soovitakse kasutada. Pärast segamise lõppu võetakse saadud vedelast bituumenist esimene proov ja määratakse viskosimeetriga segu sisehõordumine (viskoossus). Kui saadud segu sitkus on soovitavast kõrgem (näiteks 100—200 sek.), siis lisatakse segule veel vedeldajat; kui aga segu viskoossus (sisehõordumine) on nõutavast madalam (10—20 sek.), siis tuleb segule lisada bituumenit. Et bituumeni lisandamine segule on väga tülikas, siis on tarvis võtta mõni lisaproov veel enne, kui on kogu vedeldaja juurde valatud; seega on otstarbekohane jätkjärguline vedeldamine.

Vedelatele bituumenitele esitatakse praegu järgmisi nõudeid:

Vedelad bituumenid	Teetõrv D—4	Teetõrv D—3
AG — 4	BP — 3	
BG — 4	AP — 3	
BŽS—4	BŽS—3	
20—35	15—25	—
—	—	20—50      5—20

Ülal on kirjeldatud vedelate bituumenite saamine sitketest bituumenitest, s. o. sitkete bituumenite vedeldamine.

Kirjeldame allpool lühidalt ka teetõrvade valmistamist. Teetõrvade valmistamine toimub järgmisel viisil: katlassesse asetatakse kivisöepigi kaalu järgi (silmas pidada ohustustehnika nõudeid, sest töötamine pigiga on kahjulik tööliste tervisele!) ning pidevalt segades soojendatakse seda kuni täieliku sulamiseni (temperatuurini 150° C). Seejärel lõpetatakse soojendamine ja katlassesse valatakse kivisöeõli, saadud segu alatas segades. Õli juurdelisamisel ja segamisel langeb pigisegu temperatuur katlas kuni 110—120° C, s. o. just selle temperatuurini, mis tarvilik saadud teetõrva teele valamiseks. Kui pigi on kivisöeõliga täielikult segunenud ja ühinenud, siis toimetatakse tema sitkuse määramist viskosimeetriga. Kui segu sisehõordumine (viskoossus) ei vasta kruusamaterjalist olenevalt valitud sitkusele, siis lisatakse vastavalt juurde kas kivisöeõli või kivisöepigi.

Vedelaid bituumeneid, mida kasutatakse mustkatete ehitamiseks segamise teel, võib valmistada ka põlevkiviõlist (eriti aga

raskest põlevkiviõlist) tema hapendamise teel; viimane toimub põlevkiviõli soojendamise ja õhuga läbipuhumise abil.

Põlevkiviõli soojendatakse kateldes ja temperatuuri tõusmisel 100°C alustatakse õhu läbipuhumist (puhumist võib alata ka temperatuuril 80°C, kuid siis pole veel kõik õlis leiduvad lisaveed ära auranud); õhu puhumist toimetatakse võimsate kompressoritega.

Võimsate kompressorite tarvitamine on tingitud vajadusest anda õli igale kilogrammille, et bituumen kiiremini valmiks, võimalikult rohkem õhku: tavaliselt 4—6 liitrit minutis iga kg õli kohta. Läbipuhumisel teataval temperatuuril nõuab põlevkiviõli bituumeniks hapendumiseks teatava konstantse hulga õhku (hapnikku + lämmastikku). Iga erineva temperatuuri puhul on tarvisminev õhuhulk isesugune, olles näiteks vedela bituumeni nr. 3 valmistamisel: 100°C puhul 5000 l ja 280°C puhul 60 l; seega vajatakse õhku põlevkiviõli hapendamiseks kõrgemal temperatuuril ligi 90 korda vähem kui madalamal temperatuuril.

Et õli iga kilogrammi poolt tarvitatakse õhuhulk on kompressorori kaudu puhutava õhu kiiruse ja õli hapendumise aja korrelatsioon, olles seejuures konstantne teatud valitud temperatuuril, siis ühe teguri tõstmisega väheneb teine tegur.

Puhumisel hapendub põlevkiviõli aeg-ajalt, s. o. muutub molekulide üha uute grupeeringu tõttu järk-järgult sitkemaks; algul saadakse vedelate bituumenite sordid mitmesuguses sitkuses (viskoossuses) ja lõpupoole sitked bituumenid (nn. teebituumenid). Puhutavast bituumenist tuleb tema viskoossuse määramiseks proove võtta iga tunni järel.

Uldiselt tuleb puhumisel silmas pidada järgmisi nõudeid: 1) kõik bituumenid, nii sitked kui vedelad, vajavad hapendumiseks puhumise abil teatavat konstantset hulka õhku, kõrgematel puhumistemperatuuridel mitukümmend korda vähem kui madalatel temperatuuridel. Nii näiteks ühe ja sama produkti saamiseks on puhumisel temperatuuril 200°C hapendumiseks vajaliku õhu maht 30 korda väiksem kui temperatuuril 100°C, või jälle 150°C puhul on see viis korda väiksem kui 100°C puhul jne. Puhumisel kuumutamisega 280°C on õhumaht koguni 90 korda väiksem kui 100°C puhul. Nagu sellest nähtub, oleks väga ökonoomne puhumist toimetada kõrgetel temperatuuridel (paremusi — väiksem kompressor ja lühike puhumisaeg), kuid siis kaotab bituumen peaaegu täielikult oma sitkuse: järgmisel kuumutamisel on sääraste bituumenite jäækpenetratsioon ainult 20%, mõnel juhul isegi 9% esialgsest penetratsionist nõutava 50—60% asemel.

2) Puhumine peab toimuma temperatuuril mitte üle  $150^{\circ}\text{C}$  (erandjuhul  $170^{\circ}\text{C}$ ), mitte aga temperatuuril  $180$ — $220^{\circ}\text{C}$ , sest siis saab bituumen rabe: tema järgneval soojendamisel on jäÄkpenetratsioon nõutava 50—60% asemel ainult 30% ümber esialgsest penetratsioonist. Puhudes temperatuuril  $280^{\circ}\text{C}$  kaob bituumeni sitkus järgneval soojendamisel peaaegu täiesti. Puhudes temperatuuril  $150^{\circ}\text{C}$  saadakse bituumen, mille jäÄkpenetratsioon on 40—50% esialgsest. Peale selle on kõrgetel temperatuuridel saadud bituumen ebastabilne: aja jooksul muutub ta iseenesest rabedaks, tema pehmumistäpp tõuseb isegi 30 kraadi võrra, näiteks pehmumistäpp  $40^{\circ}\text{C}$  tõuseb mõne aja möödudes iseenesest 60—70 kraadile.

Puhutud bituumen ei tohi oma omadustelt olla halvem kui vaakuumdestillatsiooni puhul jäÄgina saadud bituumen. Madalamatel temperatuuridel saame puhutud bituumeni, mille omadused on paremad kui destillatsioonijääkidel (vaakuumdestillatsioonil jäÄgina saadud bituumenil). Piiriks on siin temperatuur  $150$ — $170^{\circ}\text{C}$ . Seda piiri ehk kriteeriumi ületades (toimetades puhumist kõrgematel temperatuuridel kui  $170^{\circ}\text{C}$ ) saame puhumisel hapendunud bituumenid, mis oma omadustelt on halvemad vaakuumdestillatsioonijäägina saadavast bituumenist. Ka puhutava õhu suur kiirus ei päÄsta siin olukorda, nii on näiteks temperatuuril  $190^{\circ}\text{C}$  õhukiirusega 6 l minutis 1 kg kohta puhutud bituumen kvaliteedilt halvem kui vaakuumdestillatsioonijääk.

3) Põlevkiviõli puhumine põlevkivibituumeniks peab toimuma võimalikult lühema aja välitel; see tähendab, et puhumisel juurdevoolava õhu kiirus peab olema suur, vähemalt 4 l iga kilogrammi õli kohta minutis. Kompressoör võimega 4  $\text{m}^3$  minutis on seega sobiv ainult 1 tonni põlevkiviõli puhumiseks, mitte aga näiteks 6 tonni tarvis, hoo piski rääkimata 15 t õli puhumisest. Kaua puhutud bituumeni omadused halvenevad. Kui õhukiirus on näiteks 0,1—0,05 l minutis 1 kg õli kohta (s. o. 1  $\text{m}^3$  õhku minutis 15 tonni õli kohta), saadakse bituumenid, mis oma omadustelt on veel halvemad, kui seda on destillatsioonijäägid destilleerimisel normaalise atmosfäärilise rõhuga, rääkimata vaakuumdestillatsiooni jäÄkidest. Puhutavad bituumenid ei tohi aga oma kvaliteedilt olla halvemad kui vaakuumdestillatsiooni jäÄgid.

4) Tuleb tähele panna, et bituumeni puhumise temperatuuri tõstmisega tõuseb ka saadava bituumeni pehmumistäpp ning samaaegselt langeb jäÄkpenetratsiooni protsent.

5) Bituumeniks puhumiseks on tarvis võtta kõige raskemad põlevkiviõlid, et vältida saadava bituumeni madalat süttimistemperatuuri ja suurt kadu soojendamisel.

6) Puhumisele võib asuda juba õli soojenemisel temperatuurini 30°C, kuigi kõik lisaveed pole veel ära auranud; soovitav on aga puhumist alata temperatuuril 100°C, et ei tekiks liigset vahutamist.

Eeltoodud nõudeid ja tingimusi puhumisel silmas pidades võidakse põlevkiviõlist saada bituumeneid, mis oma kvalitatiivsete näitajate poolest pole sugugi halvemad kui naftabituumenid. Seega on varajane arvamus, et põlevkiviõlist saadavad bituumenid ei suuda rahuldada nõudeid, mis on püstitatud naftabituumeneile.

F. Kruusamaterjalide valik ja segude arvutus projekteeritud koostiseks, mis läheb vaja musta teekatte ehitamiseks töötlemisega kohapeal teel, toimub saadaolevatest materjalidest, arvestades nende terastikulist koostist. Peamiselt kasutatavad materjalid on: olemasoleva teekatte materjal, kruusaugumaterjal, kivipurustajalt saadav materjal jne.

Nende materjalide granulomeetrilised andmed märgitakse graafiliselt vastavale diagrammille ja kantakse analüütiliselt ka sellekohasse tabelisse ning tehakse arvutused materjalide kahekaupa segamiseks, seejuures silmas pidades matemaatiliste arvutuste algebralisi märke nagu see on näidatud joonistel 20, 21 ja 22.

Segamiseks võetud materjalide iga fraktsioon (terasuurus) dikteerib teatava protsendilise vahekorra kahele segatavale materjalile, kuid lõppresultaadina võetakse see vahekord kui aritmeetiline keskmine kõigist neist üksikute fraktsioonide protsentidest.

Kahe materjali, näiteks  $A_1$  ja  $A_2$  segamisel, milledest  $A_1$  on peenema ja  $A_2$  jämedama teraga, projekteeritud uue segu  $B$  saamiseks tuleb kasutada lihtsat valemit sõelumiskõverate diagrammil ükskõik millise terasuuruse (sõelasuuruse) kohal märgitud ordinaatide vahekorrast ja nimelt: materjali  $A_2$  tuleb võtta vastuproportsionaalselt ordinaatide vahede suhetele, s. o.

$$\text{materjali } A_2 \text{ võetakse } \frac{A_1 - B \text{ (ordinaatide arvväärtused)}}{B - A_2 \text{ (ordin. arvväärtused)}}$$

korda rohkem kui  $A_1$  materjali.

Või teisiti valemiga: materjali  $A_2$  % segu üldmahust on

$$\frac{\frac{A_1 - B}{B - A_2}}{1 + \frac{A_1 - B}{B - A_2}} \times 100 = \frac{A_1 - B}{B - A_2 + A_1 - B} \times 100, \text{ s. o.}$$

$$\text{materjali } A_2\% = \frac{A_1 - B}{A_1 - A_2} \times 100\%.$$

Materjali nimetus Наименование материала	Materjali soelumise tulemused Результаты просеивания материала	Ruuduliste aukudega sõelte suurusid, s.o. крип- сафараде сурусы Сумма с квадратными отверстиями в мм. т.е. размер группных матриц							
		40	25	15(16)	10(11,3)	5(5,6)	2,0	0,5	0,25
	Materjali faktiline jääl igal sõelal %-des üldkaalust Фактический остаток на каждом сите в % от веса пробы								
	Üldine jääl igal antud sõelal %-des (s.o. kõigi eelmiste suuremate sõelite jäääkide summa ühes antud sõela jäätgiqas) Суммарный остаток материала на данном сите в % от веса пробы (то есть остаток на сите плюс все остатки, полученные от просеивания материала на предыдущих ситах)								
	Läbis antud sõela %-des kaalust Прошла через данное сите в % от веса пробы								

Joon. 20. Võetud proovide iseloomustus:

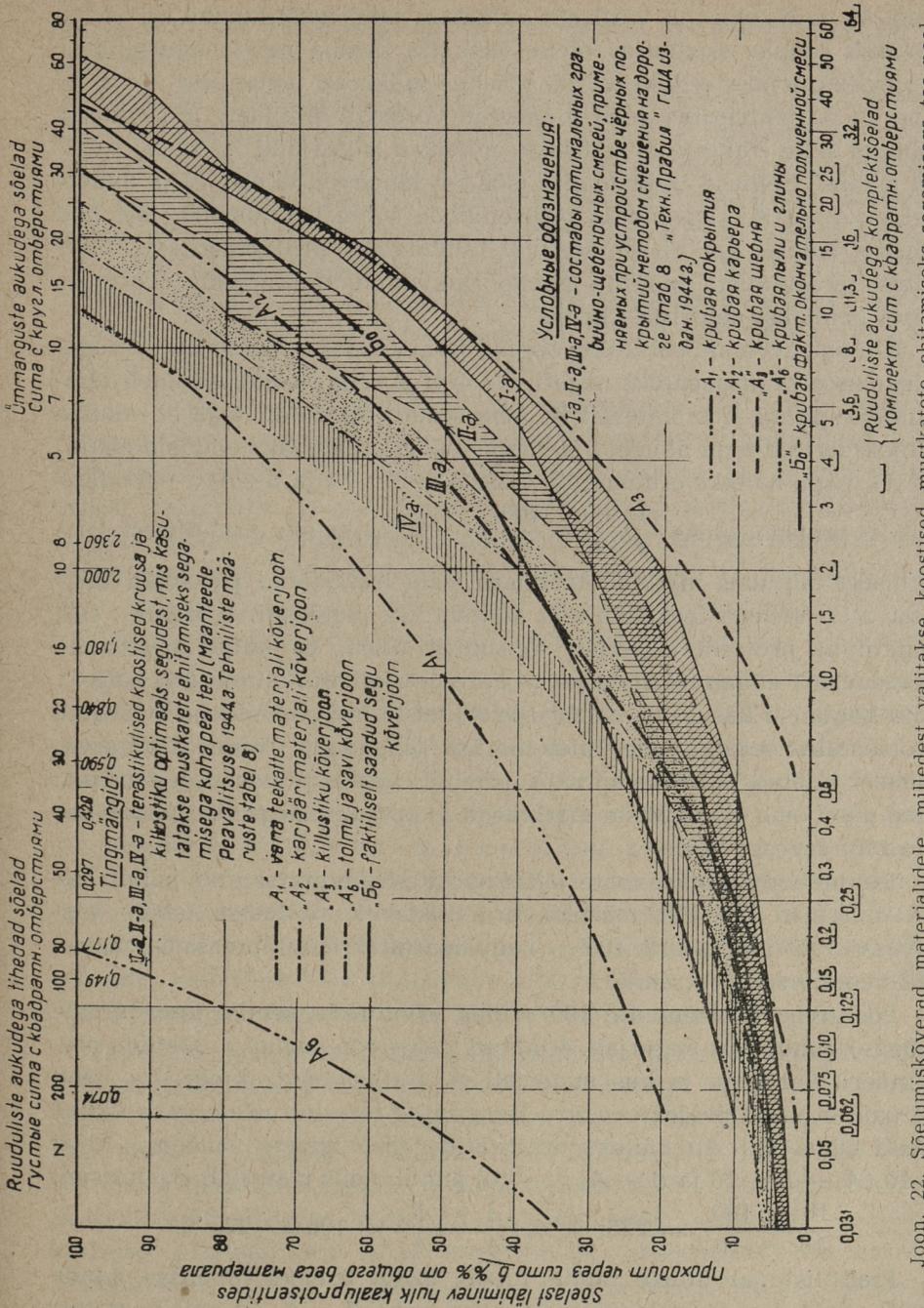
Рис. 20. Характеристика взятых проб.

Iga fraktsiooni (terasuuruse) kohta väljaarvutatud segamisvahekorra protsendid summeeritakse ja jagatakse fraktsionide arvuga (sõelte arvuga), saades seega kahe võetud materjali  $A_1$  ja  $A_2$  segamiseks keskmise protsendilise vahekorra  $A_2$  jaoks. Iga terasuurus määrab küll isesuguse protsendi  $A_2$  jaoks tema segamiseks  $A_1$ -ga, kuid segada tuleb teatas keskmises vahekorras.

Materjali  $A_2$  üksikute terasuuruste protsente (fraktsioniprotsente) liites tuleb harilike liidetavatena arvesse võtta ka nullprotsendid, mis saadakse fraktsionide või sõelte suhtes, kus  $A_1 - B = 0$ , sest ka need fraktsionid võtavad osa materjalide  $A_1$  ja  $A_2$  segamise vahekorra protsendilisest määramisest ning liidetavate arvuna (protsentide summat nad ju ei suurenda) tuleb need arvesse võtta, vähendades seega materjali  $A_2$  keskmist protsentti.

Kuid keskmise protsendi arvutamisel ei tule liidetavatena arvesse võtta need sõelad (fraktsionid), mis arvutuse resultaadina annavad „kriipsu“, ja „kriips“ materjalile  $A_2$  saadakse nende fraktsionide puhul, kus vahekord  $\frac{A_1 - B}{B - A_2}$  võrdub miinus ühega või määramatu-sega, s. o. kus materjali  $B$  suhtes materjalide  $A_1$  ja  $A_2$  ordinaatide vahede absoluutne suhe on  $-1$  või  $\emptyset$  ja seda nimelt siis, kui mater-

<i>5. Стандартные способы определения коэффициента сцепления при измерении краевой трясины на рабочем участке в НН</i>																		
<i>A</i>										<i>Teekatteesi!</i>								
<i>A<sub>1</sub></i> в покрытии дорожки										<i>krusadusgaus!</i>								
<i>A<sub>2</sub></i> в краевом бактерии										<i>Kivipuruistaja!</i>								
<i>A<sub>3</sub></i> от камнедробильного оборудования										<i>Esimessed sedamiseid!</i>								
<i>A<sub>4</sub>=B</i> смесь из песка и гравия										<i>teisesed sejamised!</i>								
<i>A<sub>5</sub>=B</i> смесь из второго сечения										<i>Töötaja 333v!</i>								
<i>A<sub>6</sub></i> добавки пыли и золы										<i>Projekt segu lähevatele mõõtmistel (M/P. Tähn m. jarg.)</i>								
<i>Процент краевой трясины по проекту, числу (по Т.Х. Т.И.А.)</i>										<i>Ordinatsioonide vahed</i>								
<i>A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub></i> Разность одинарных										<i>Ordinatsioonide vahede suhe</i>								
<i>A<sub>1</sub>-B</i> % дифференции одинарных										<i>Ordinatsioonide vahede suhe</i>								
<i>B/A<sub>1</sub></i> % одинарных одинарных										<i>Faktiilisel saadud segu ordinatsioonide vahede suhe</i>								
<i>B/A<sub>2</sub></i> % одинарных одинарных										<i>Одинарные краевые факты полу-смеси</i>								
<i>(A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>)/(A<sub>1</sub>-B)</i> % одинарных одинарных										<i>Кокки (täitem 14+lahing 15)</i>								
<i>(A<sub>1</sub>-B)/B</i> % одинарных одинарных										<i>Всего (28+4+29/15)</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Объем материала A<sub>1</sub></i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>2</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>1</sub> m3</i>										<i>Матер. A<sub>1</sub> m3</i>								
<i>Materjali A<sub>2</sub> m3</i>																		



Joon. 22. Söelumisköverad materjalide, millest valitakse koostised mustkate ehitamiseks segamisega tee peal.

Рис. 22. Кривые подбрасывания гравийно-щебёночных смесей, применяемых при

jalid  $A_1$  ja  $A_2$  omavad võrdseid ordinaate ning neist kumbki ei vasta võrdselt segule, kusjuures oleks ükskõik, kumba neist materjalidest projekteeritavaks seguks võtta, või kus mõlemad materjalid  $A_1$  ja  $A_2$  ning ka projekteeritav segu  $B$  omavad võrdseid ordinaate ja seguks  $B$  sobivad selle fraktsiooni kohaselt mõlemad materjalid  $A_1$  ja  $A_2$  võrdsel määral. Sellised fraktsioonid (sõelad) langevad täiesti välja materjalide  $A_1$  ja  $A_2$  segamiseks protsendilise suhte määramisel, sest nad võrdsel määral kas ei rahulda või rahuldavad projekteeritava segu antud terasuurst, mistõttu nende fraktsionide protsentide arvutamisel pannakse lahtrisse „kriips“.

Kui aga arvutamisel fraktsionide järgi saadakse materjali  $A_2$  segamisvahekorra protsendiks negatiivne arv, ja seda saadakse nimelt terasuusteste puhul, kus materjal  $A_1$  oma antud fraktsionidega ei rahulda projekteeritud segu nõudeid ja hoopis vähem rahuldaks nõudeid materjal  $A_2$  (nagu näiteks ordinaatide vahe  $A_1 - B = +4$  ja  $B - A_2 = -9$  puhul, kus  $A_2$  protsent oleks  $\frac{4 \times 100}{4 - 9} = \frac{400}{-5} = -80\%$ ), tuleks praktillisest kaalutlustest lähtudes märkida tabelisse selle fraktsiooni protsendi lahtrisse null; sellega teeksime küll teatava vea materjali  $A_2$  kasuks, sest negatiivne protsent materjali  $A_2$  suhtes ütleb, et antud fraktsioon (terasuurus) nõuab, et materjali  $A_2$  ei võetaks mitte ainult 0% määral, vaid kogunisti käseb, et materjalile  $A_2$  teiste fraktsionidega määratud protsendelist segamissuhet tuleb märksa vähendada. Teoreetilisel arvutamisel tuleb kõigi terasuustute (sõelte) kohta protsendid arvutada ning need oma algebraliste märkidega ja arvsuurustega (ka positiivsed üle 100) arvesse võtta.

Samuti soovitatakse materjali  $A_2$  positiivsete protsentide puhul, mis on suuremad kui 100, märkida praktistikatel kaalutlustel tabeli vastavasse lahtrisse ainult 100%, nagu märgitakse nulliga sama materjali negatiivsed protsendid.

Positiivne protsent üle 100 esineb arvutuses nende terasuustute (sõelte) puhul, kus materjali  $A_1$  antud fraktsioon sugugi ei rahulda projekteeritavat segu ja kus materjali  $A_2$  fraktsionid, kuigi ka need pärisele ei vasta projekteeritava segu antud terasuurstele, rahuldavad siiski enam kui  $A_1$ ; näiteks ordinaatide absoluutsete vahede  $+18$  ja  $-10$  ( $A_1 - B = 18$  ja  $B - A_2 = -10$ ) puhul oleks materjali  $A_2$  protsent

$$\frac{18 \times 100}{18 - 10} = 225, \text{ s. o. } \frac{A_1 - B}{A_1 - A_2} \times 100 = 225\%.$$

Praktiliste arvutuste puhul tuleks 225% asemel tabelisse kanda 100%. Seal, kus fraktsiooni ordinaatide vahe  $B - A_2$  on null ja mater-

jali  $A_2$  ordinaat ühtub materjali  $B$  ordinaadiga, on materjali  $A_2$  protsendiks 100.

Täpsete teoreetiliste arvutustega puhul tuleb aga arvutustabelisse märkida nii materjali  $A_2$  negatiivsed protsendid kui ka positiivsed, 100-st suuremad protsendid oma arvväärtustega. Keskmise protsendi leidmiseks tuleb kõik need protsendid oma algebraliste märkidega ja ka nullidega summeerida ning jagada liidetavate arvuga. Seejuures eitule arvesse fraktsioonid, mille protsendilahtis seisab kriips (tühji).

On täiesti selge, et sellise täpse matemaatilise arvutuse korral, võttes arvesse segu materjalile  $A_2$  keskmise protsendi määramisel kõikide fraktsioonide poolt dikteeritud suhteprotsente, me saame antud kahest materjalist  $A_1$  ja  $A_2$  säärase segu  $B$ , mille terastikuline koostis ei rahulda täielikult ühtegi fraktsiooni, kuid maksimaalselt rahuldab projekteeritud segu kõiki fraktsioone; seejuures võib ta projekteeritud segu mõnda fraktsiooni juhuslikult ka täiesti rahuldada siis, kui fraktsiooni protsent võrdub saadud keskmise protsendiga.

Kuid kandes arvutustabeli fraktsioonide protsendilahtisse negatiivsete protsentide asemel nulli ning positiivsete, 100-st kõrgemate protsentide asemel ainult 100, me teeme mõnevõrra vea materjali  $A_2$  keskmise protsendi määramisel, kuid see viga osaliselt annulleeritakse vastamisi (pannes miinusprotsendi asemele nulli, me kunstlikult suurendame materjali  $A_2$  keskmise protsendi arvväärtust, kuid pannes samal ajal 100-st suuremate positiivsete protsentide asemele ainult 100%, me kunstlikult vähendame keskmise protsendi arvväärtust), samuti ei oma praktistikat tähtsust mõneprotsendiline kõikumine üles või alla, sest keskmise protsent võetakse ümardatult (näiteks 34% või 37% asemel võetakse 35%, 53% või 56% asemel 55% jne.).

Tegelikus töös määratatakse kahe segatava materjali protsendilise suhe projekteeritava segu saamiseks kolme-nelja enam iseloomulikuma fraktsiooni (terasuuruse 0,074; 1,000; 5,600; 25,0 mm) järgi ja keskmiseks protsendiks võetakse nende kolme-nelja fraktsiooni protsentide aritmeeiline keskmise; segu terastikuline koostis arvutatakse analüütiliselt, lähtudes materjali  $A_2$  keskmisest protsendist ja tema koostise ordinaatidest ning materjali  $A_1$  protsendist 100 miinus keskmise  $A_2$  protsent ja materjali  $A_1$  ordinaatidest; ordinaatide arvutus tehakse segu iga fraktsiooni (sõela) kohta; uue segu granulomeetri-

line koostis kontrollitakse sõelumiskõverate diagrammil graafiliselt projekteeritud segu terastikulise koostise ordinaatidega.

Kui kähest võetud materjalist ei lähe siiski korda koostada segu projekteeritud terastikulise koostisega, siis tuleb segamiseks võtta veel kolmandat materjali. Ka sel juhul teostatakse arvutust analoogiliselt eespoolkirjeldatud viisile, kus  $A_1$  ja  $A_2$  all mõeldakse juba uusi materjale: segu esimesest segamisest ning uut, kolmandana võetavat materjali, nii nagu see on tabelis 21 näidatud teise vooru tehtena. Analoogiliselt eelmisele tuleb tarviduse korral kolmanda vooruna arvestada neljanda materjali juurdelisamist projekteeritud segu saamiseks.

Nii saadakse optimaalse koostisega kruusamaterjalide segu mustkatete ehitamiseks segamisega maanteel.

K o k k u v õ t e. Lähtudes projekteeritud segust määratakse bituumenisaldus vastavalt valitud koostisele normide järgi kindlaks 3,5—7% le, nagu eespool juba kirjeldatud. Bitumeni täpne protsent määratakse katsetega laboratooriumis, arvestades segamisel saadud kruusamaterjali koostist. Proovid analüüsatakse veeimavuse suhtes, mis mahuliselt ei tohi olla alla 1,5% ega üle 4%. Nii saadakse tugev, vastupidav mustkattekiht, mis ühekordsel pealispindamisel kaetakse veel õhukese vaibaga.

## IX PEATUKK.

### TEIMIMISTEST KULMAOHTLIKE PINNASELIIKIDE ÄRATUNDMI- SEKS KRUUSATEE MULDKEHADE JA KATTEMATERJALIDE VALIKUL.

Maantee vastupidavust ohustavad nähtused on külmakerked, libisemised ja vajumised.

Sõidutee laitmatu püsivuse huvides tuleb uurida kõiki neid pinnase liike, mis võivad ohustada sõiduteed või kogu ehitist tervikuna. Külmakergete esinemine maantee muldkehas või sõidutees võib põhjustada nii liikluse katkemist kui ka liiklusõnnnetusi maanteedel.

Teedeehitaja-praktik peab tundma maantee elementidesse paigutatavate materjalide kõiki omadusi. Maantee projekteerija peab oskama käsitada külmakergete, libisemiste ja vajumiste vastu kasutatavaid ehitusviise, kuna sihiajaja seevastu peab eksimatu kindlusega ära määrama teesihiga läbitava maa-ala pinnase iseloomu.

Lisana toodud tabelis on püütud kokkuvõtlikult ette tuua need praktilised menetlused, mis on tarvilikud ja kohased rakendamiseks kruusateede ehitamisel ja korrashoiul, et ära määrata muldkeha pinnase kui sõidutee aluskihi omadused külmakergete tekkimise võimaluste seisukohalt (vt. lisa).

X PEATUKK.

**KOKKUVÕTE.**

a. Katete osas:

Töö tulemusena on koostatud sõelumiskõverate diagramm nii-suguse kattematerjali kohta, mis oma terastikulise koostise poolest rahuldab Eesti NSV oludes hea kattega kruusatee ehitamiseks ja kor-rashoiuks kasutatavale materjalile esitatavaid nõudeid.

b. Pinnaste stabiliseerimise osas:

On toodud lühikokkuvõttena senised tulemused tehtud katsetest tolmutörjevahendite alalt. Need andmed võivad olla aluseks edaspidiste uurimistele pinnaste ja kattematerjalide stabiliseerimise alal orgaaniliste ja mineraalse te sideainetega.

c. Jõuvankrite osas:

Teedel liiklevad jõuvankrid peavad olema varustatud madalsurve õhurehvidega ja amortisaatoritega.

d. Sõidutee konstruktsiooni osas:

Tuleb vältida niisuguseid sõidutee aluse konstruktsioone, mis üle-llia kuivatavad sõidutee kattekihti, näiteks sõidutee poorne kivialus.

e. Teede hööveldamise osas:

On püstitatud nõue, et need ei tohi hööveldada nii, et sõidutee pind oleks üksnes näiliselt tasane. Hööveldada tuleb nii, et kattematerjal oleks hästi läbi segatud ja muutuks ühtlaseks massiks ning et eba-tasasused oleksid „juurteni“ kõrvaldatud.

f. Pinnase osas:

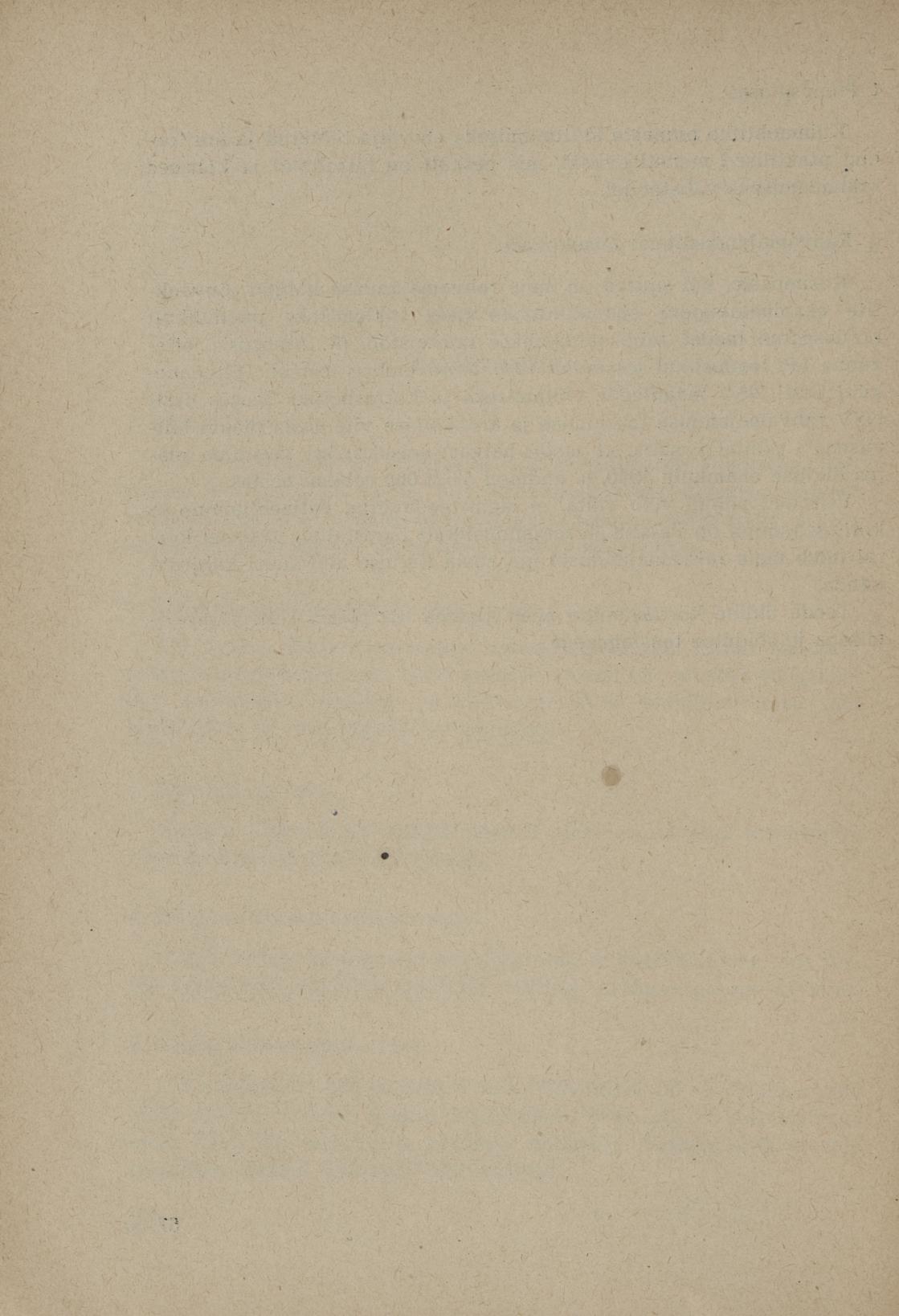
Külmaohtlike pinnaste äratundmiseks on välja töötatud ja ära toodud praktilised menetlusviisid, mis eeskätt on tarvilikud ja kohased rakendamiseks välistöödel.

g. Rahvamajanduslikust seisukohast:

Küsimele, kui suured on meie rahvamajanduse kahjud jõuvankrite ekspluatatsiooni enamkulutuste osas liiklemiseks puudulikult kordaseatud teedel, võib sellekohase urimistöö (R. Ambros'e ettekanne TPI teaduslikul sessioonil 1946. a. novembris teemal: „Ettepanekuid Eesti NSV maanteede ehitamiseks ja korrasjoiuks seoses Eesti NSV rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaani täitmisega“) põhjal vastata, et teede halvast seisukorras tingituna ulatus liikluse enamkulu 1940. a. andmeil 5 625 000 rublani aastas.

Eeltoodu põhjal võib väita, et meie teenevõrgu väljaehitamine ja kordaseadmine on vajalik ja majanduslikult õigustatud, vastasel korral tuleb meie rahvamajandusel iga aasta liikluse alal suuri kahjustusi kanda.

Teede üldine korrastamine peab algama tee plaani rekonstrueerimisega ja sõidutee taastamisega.



## ГЛАВА I.

### ПЕСКИ И ГРАВИЙ ЭСТОНСКОЙ ССР.

Образование грунтов Эстонской ССР относится к сравнительно недавным геологическим эпохам — ледниковому и послеледниковому периодам. По своему составу ледниковые отложения разнообразны и образуют также различные формы рельефа земной поверхности.

Песчаные и гравийные материалы, встречающиеся на земной поверхности, можно распределить следующим образом:

- 1) пески и гравий моренных отложений,
- 2) пески и гравий, намытые ледниковыми водами и
- 3) пески и гравий, находящиеся по берегам водоёмов и водотоков.

Состав песков весьма неоднородный с большим содержанием мелких частиц.

Характерным для песков является большое содержание частиц кремня, для гравия же — значительное количество известковых камышков. Моренные пески и гравий содержат также значительное количество валунов кристаллического строения.

Наличие в Эстонской ССР гравийных материалов позволяет использовать их для строительства и содержания автомобильных дорог.

Гравийные покрытия становятся однако в двух случаях весьма чувствительными к атмосферным влияниям, а именно: в период значительных осадков вода, проникая в покрытие, размягчает его, вследствие чего покрытие теряет несущую способность, и на дороге образуются колеи; в период же засухи расстраивается связь между частицами материала покрытия, дорога начинает пылить, и на поверхности ее образуются неровности, выбоины и поперечные волны (гребёнка). Таким образом состояние гравийного покрытия зависит главным образом от количества находящейся в нем влаги: переувлажнённое покрытие образует колеи, а излишне высохшее — выбоины и волны. Средством повышения сопротивляемости

гравийного покрытия, как увидим ниже, является надлежащий гранулометрический состав материала.

Как и в других странах, строительство гравийных покрытий и в нашей стране пережило свой период развития, разработав свои приёмы и технику. Автор этих строк старался в длительный период времени внедрить на основании исследовательских работ и опытов строительство погодоустойчивого, прочного, ровного и свободного от пыли покрытия для нашей сети гравийных дорог. В результате этих исследований была составлена соответствующая диаграмма кривых просеивания и этим создано основание для практического применения при устройстве прочных и устойчивых гравийных покрытий на наших дорогах.

Разумеется, здесь нельзя было ограничиться лишь назначением оптимального гранулометрического состава гравия, но наряду с этим производилось исследование твёрдости и погодоустойчивости материала, разрешение производственно-технических вопросов и задачи обеспыливания.

Таким образом задачей исследований являлось: поднять состояние наших гравийных дорог в связи с выполнением пятилетнего плана по восстановлению и развитию народного хозяйства Эстонской ССР, снизив тем самым эксплоатационные расходы автомашин и подготовив проезжую часть дорог к переходу от гравийного покрытия к полуусовершенствованным и усовершенствованным покрытиям, а темой исследовательских работ:

1) Подобрать для постройки и содержания гравийных дорог такой состав гравийного материала, чтобы применение его давало бы твёрдое, плотное, достаточно шероховатое, не образующее выбоин, колей и попечечных волн, а также свободное от пыли покрытие.

2) Создать однообразные методы постройки и содержания гравийных дорог ЭССР в части материала покрытия.

3) Подготовить дорожное покрытие гравийных дорог к переходу на полуусовершенствованное или усовершенствованное покрытие.

## ГЛАВА II.

### О ДЕФОРМАЦИЯХ ПОКРЫТИЯ И ВОЗНИКНОВЕНИЯХ ВОЛН И ВЫБОИН НА ГРАВИЙНЫХ ДОРОГАХ.

Каждая неровность на поверхности дороги, изменение скорости автомашины и сотрясение рессор и колес изменяет давление, передающееся от тяжести автомашины на поверхность проезжей части, причём давление это варьирует от некоторого минимума к максимуму и обратно. В результате этих изменений давления на поверхности проезжей части возникают выбоины, гребёнка и прочие неровности.

Можно заметить, что выбоины и волны образуются в результате трёх механических процессов, а именно:

- 1) разбрасывания несвязанного гравия колёсами экипажей,
- 2) размягчения покрытия, пропитанного водой осадков и
- 3) пластической деформацией грунта.

Эти процессы могут проявляться как одновременно, так и порознь, или в различных комбинациях.

На рис. 1 изображены схематически три способа образования волн:

- а) разбрасывание гравия;
- б) образование выбоин при размягчении пропитанного водой покрытия и
- в) пластические деформации.

На рис. 2 изображено типичное волнообразование, возникшее вследствие уложенного на проезжую часть несвязанного материала покрытия.

При переносе несвязанного материала покрытия происходит также известная сортировка частиц: более крупные и круглые частицы гравия не остаются лежать на гребне волны, но катятся по инерции дальше. Мелкие частицы не падают обратно во всем объеме на поверхность, но уносятся ветром в виде пыли. Частицы песка средней величины слишком тяжелы, чтобы носиться в воздухе в виде пыли, но и слишком легки, чтобы катиться по дороге, поэтому они оседают в значительном коли-

честве на гребнях волн и образуют подавляющую часть материала, образующего волны.

Такой тип волнообразования наблюдается на поверхности дорог там, где твёрдая и ровная проезжая часть была при дополнительной добавке гравия покрыта мелким несвязанным материалом.

На рис. 3 приведён схематический разрез дороги, ремонтируемой мелкозернистым материалом.

- а) Мелкозернистый несвязанный материал.
- б) Уплотнившийся, но приблизительно того же состава материал.
- в) Покрытие с твёрдой и ровной поверхностью уплотнившегося материала.

Образование выбоин происходит вследствие перебрасывания материала с одного места на другое. Образование же выбоин не представляет собой самостоятельного явления, они возникают там, где встречаются неровности на поверхности покрытия. Вода, скопляющаяся в углублениях этих неровностей, размягчает материал покрытия, вследствие чего мелкозернистые фракции выбрасываются колёсами в виде брызг, остается не связанный крупный материал. При высыхании связь между частицами недостаточна, и в результате образуется выбоина.

На рис. 4 показан снимок с поверхности дороги, покрытой выбоинами. Рис. 5 и 6 изображают поверхность дороги с образовавшимися глубокими волнами и выбоинами. Рис. 7 изображает весенне волнообразование, здесь приведено возникновение выбоин вместе с пластической деформацией основания. На рис. 8 показан участок дороги, подверженный пучинообразованию и рис. 9 — образцово гравированную дорогу.

Наблюдения и обмеры показывают, что поперечные волны распределяются довольно равномерно, и расстояние между ними составляет обычно от 58 до 70 см.

По форме волны бывают двоякого рода: короткие — с большой глубиной, возникающие вместе с выбоинами, и длинные, часто преобладающие, причиной возникновения коих является несвязанный гравий.

Короткие волны образуются ранней весной и осенью при сырой поверхности дороги, длинные же волны типичны для летнего времени и обусловлены главным образом значительным движением.

Длина волн, вызванных деформацией грунта основания, составляет обычно 120—170 см.

### ГЛАВА III.

## МЕТОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ И ПРАКТИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРАВИЯ, КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОСТРОЙКИ И СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ.

Хорошее состояние гравийных дорог нарушается в период значительных осадков или засухи. В период значительных осадков проезжая часть насыщается водою и на ней образуются колеи, в периоды же засухи частицы материала покрытия теряют связь между собой, возникает пыль и появляются волны и выбоины.

Можно вывести заключение, что хорошее состояние проезжей части зависит от качества употребляемого гравия и распределения по крупности его частиц в покрытии.

Большое содержание мелких частиц в гравии вызывает в сырое время образование колей; недостаток мелких частиц способствует однако появлению выбоин в сухое время.

Отсюда естественно — вопрос, какими свойствами должен обладать гравий, применяемый для постройки и содержания дорог, чтобы предупредить образование волн и выбоин в засушливое время и колей в периоды с избытком осадков.

Ответ на поставленный вопрос можно получить, исследуя участки дорог, сохранившихся без образования колей с осени до следующей весны, и участки дорог, на которых в засушливое время не образуется выбоин и поперечных волн.

Важнейшими качествами, влияющими на устойчивость материала покрытия, помимо самого земляного полотна, являются петрографический состав материала, форма частиц гравия и распределение их по величине в материале покрытия.

Для качественного материала покрытия должно быть поставлено требование, чтобы он обладал бы большой несущей способностью в периоды с избытком осадков и достаточной связанностью в засушливое время.

В поисках разрешения вопроса в самой проезжей части дороги, необходимо оба вышеописанных явления исследовать отдельно, но в результате должен быть назначен такой состав материала покрытия, который отвечал бы обоим поставленным условиям.

## АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЯ ПРИ НАСЫЩЕНИИ ВОДОЙ.

Сопротивление гравийного покрытия действию движущихся экипажей зависит прежде всего от распределения частиц гравия по их величине в материале покрытия, степени уплотнения материала, содержания воды и толщины слоя покрытия. Вместе с тем земляное полотно дороги должно обладать прочностью, отвечающей нагрузке, и надлежащими дренирующими свойствами.

Влияние атмосферных осадков оказывается больше всего в верхних слоях покрытия. Отсюда вытекает задача, каким образом можно защищить покрытие проезжей части от размягчения в периоды с избытком осадков, чтобы на нём не образовалось бы колей и выбоин. Это необходимо достичь, давая материалу надлежащую плотность. Материал дорожного покрытия обладает достаточной степенью плотности и несущей способностью, если, несмотря на избыток влаги и нём, на проезжей части не образуется глубоких колей и не происходит перемещения частиц материала.

Каков должен быть гранулометрический состав такого материала? Задача эта разрешена автором этих строк таким путём, что ранней весной и поздней осенью брались для исследования пробы из материала участков, взятых под наблюдение, в тех местах, где поверхность проезжей части покрывалась колеями, и в местах, где при равных условиях погоды и грузонапряжённости, а также свойствах грунта земляного полотна, поверхность проезжей части оставалась ровной, где она обладала хорошей несущей способностью и не имела деформаций.

После анализа гранулометрического состава проб гравия, взятых из участков, выдерживающих и не выдерживающих движение, был получен ответ на вопрос, какой гранулометрический состав материала дает прочное и сопротивляющееся гравийное покрытие.

Нанеся гранулометрические составы гравия на диаграмму просеивания, видим, что кривые материала покрытия, не образующего колей, располагаются в тесной группе, более или менее параллельно друг другу и в нижней части диаграммы, в то время как кривые материала, образующего колеи, расположаются выше и в различных положениях.

С помощью этой группы кривых просеивания можно назначить пределы гранулометрического состава материала покрытия, не образующего колей в периоды, обильные осадками.

## ВАЖНЕЙШИЕ ТРЕБОВАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОВЕРХНОСТИ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ДОРОГИ.

Поверхность гравийного покрытия должна быть ровная, достаточно шероховатая и по возможности быть свободна от пыли.

Пыли не образуется, если материал покрытия не содержит пылеватых частиц, или же если пылеватые частицы находятся в покрытии в связанном состоянии. На поверхности ровной проезжей части отсутствуют выбоины и поперечные волны. Образования волн не происходит, если частицы материала тесно между собой связаны и материал плотно уложен в покрытие.

При некотором содержании влажности частицы материала связаны между собой капиллярным поверхностным натяжением. В засушливые периоды влага может почти совершенно испариться, тогда поверхность проезжей части начинает разрушаться, возникает пылеобразование и появляются волны. Отсюда следует, что гранулометрический состав материала покрытия необходимо устанавливать и в отношении устойчивости против образования пыли и волн.

Установлено, что размер пылеватых частиц на дороге от 0,2 до 0,02 мм. Следовательно, если материал покрытия не содержит частиц размером мельче 0,2 мм, то покрытие даёт лишь незначительное количество пыли. С другой стороны, если материал покрытия не содержит мелких частиц, то он не имеет связности, и на поверхности проезжей части возникает перемещение несвязанного материала.

В результате анализов можно отметить, что мелкозернистый и песчаный материал покрытия легко образует волны, тогда как наличие более крупных частиц задерживает образование таковых. Крупнозернистый материал, при отсутствии в нём мелкозернистых связывающих частиц, обладает всегда подвижностью в покрытии. Частицы его изнашиваются, возникает пыль, и покрытие покрывается выбоинами.

Чтобы избежать этих явлений, надо прийти к выводу, что покрытие гравийной дороги должно всегда находиться в достаточно связанном состоянии, что достигается наличием в нём мелкозернистых частиц. Связывающим материалом в гравии может быть также глина. Свойство глины связывать гравий в сухое время в твёрдое компактное тело основывается на том, что глина, содержащая воду в некотором количестве, не отдаёт при высыхании всей этой влаги, и частицы материала остаются связанными за счёт поверхностного натяжения, возникающего между ними.

Отсюда можно сделать следующий вывод: чтобы получить и поддерживать покрытие в ровном и связанном состоянии, без волн и, по воз-

можности, свободное от пыли, материал покрытия должен содержать и сохранять в себе некоторое количество влаги.

Ответ на вопрос, какой же должен быть гранулометрический состав материала покрытия, сохраняющего в сухое время ровную поверхность, без волн и выбоин, найден был таким образом, что многочисленные пробы гравия с проезжей части дороги, сохранившей в середине лета ровную и гладкую поверхность, и пробы, взятые с тех мест, где дорога имела выбоины и волны, подвергались соответствующему анализу, в результате чего выявилось, что кривые просеивания для состава гравия, не образующего выбоин и волн, располагались параллельно, и крайние положения их давали поле для гравия надлежащего состава.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРАВИЯ ДЛЯ ПОСТРОЙКИ И СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ ЭСТОНСКОЙ ССР.

На основании предыдущих исследований были построены диаграммы кривых просеивания для материала покрытия, не образующего колей в сырое время года и выбоин и волн в засушливое время. Обе эти диаграммы имеют различное положение, но частично они всё же покрывают друг друга. Эта общая часть диаграммы и представляет собой поле гравия оптимального состава, удовлетворяющее поставленным требованиям, т. е. материал покрытия в сырое время не образует колей, а в сухое — не покрывается выбоинами и не образует поперечных волн (гребёнки). Всякий гравийный материал, кривая просеивания коего вмещается в границах поля «идеального гравия», и представляет собой оптимальный состав гравия для устройства и содержания гравийных покрытий в Эстонской ССР.

Диаграмма (рис. 10) изображает поле оптимальной гравийной смеси, ограниченное предельными кривыми (первоначальная диаграмма).

Чтобы доказать на практике соответствие диаграммой кривых просеивания намеченного гранулометрического состава гравия поставленным требованиям, были произведены в течение продолжительного времени наблюдения и исследования гравийного покрытия дорог, устроенных с применением гравия оптимального гранулометрического состава. Исследования производились в различное время года и при различном состоянии дорог.

## ГЛАВА IV.

### ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СМЕСИ ГРАВИЯ ПОСРЕДСТВОМ КРИВЫХ ПРОСЕИВАНИЯ. ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ, СДЕЛАННЫХ СО ВРЕМЕНЕМ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗОВ И ОПЫТОВ, В ДИАГРАММЕ КРИВЫХ ПРОСЕИВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СМЕСИ ГРАВИЯ.

Первоначально построенная диаграмма кривых просеивания оптимальной смеси подвергалась при применении её на практике постоянной критике, как с точки зрения сопротивляемости материала движению экипажей в сырое и сухое время, так и с точки зрения удобства обработки его грейдером.

Основываясь на практический опыт, можно утверждать, что гравийное покрытие поддаётся ещё обработке грейдером в сухое время при диаметре материала до 30 мм. С точки зрения удобства прохода грейдером желателен однако диаметр частиц 10—12 мм. Чем больше содержание в гравии крупных фракций, тем лучше сопротивляется покрытие движению и износу.

Исходя из условий нечувствительности покрытия к волнообразованию, шероховатости и удобства обработки грейдером, в течение последующих лет была усовершенствована первоначальная диаграмма кривых просеивания оптимальной гравийной смеси и в настоящее время дан этой диаграмме вид, представленный на рис. 12.

### УКАЗАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ГРАВИЙНОГО ПОКРЫТИЯ В БУДУЩЕМ.

Основываясь на полученный до сего времени опыт, следовало бы распределить гравийные дороги в отношении их содержания на две группы. К первой группе должны были бы принадлежать такие дороги, которые можно утюжить грейдером в течение всего лета (старые дороги с мелкозернистым материалом покрытия). Ко второй группе следовало

бы отнести вновь строящиеся или капитально ремонтируемые гравийные дороги. Эти дороги подлежали бы обработке грейдером (профилировке или утюжке) только в сырое время года, но так, чтобы волна уничтожалась бы, так сказать, с корнем. Хорошего состояния проезжей части надо достигать содержанием дороги, используя при этом по возможности средства обеспыливания. Максимальная величина зёрен гравия может быть до 25—30 мм, а толщина покрытия на соответствующем основании 6—10 см. При возрастании грузонапряжённости на дороге свыше 500 тонн в сутки, необходимо переходить на более усовершенствованное покрытие.

Р. 11 характеризует состав материала для первой и второй группы.

## ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ КРИВЫХ ПРОСЕИВАНИЯ.

На рис. 13—16 приведены вместе с соответствующими расчётами и таблицами примеры способов подбора составов гравия, отвечающих оптимальной смеси, из сортов гравия, непосредственно не соответствующих оптимальной смеси. Для пояснения возьмём следующий пример.

Пусть материалы «A» и «B» (рис. 15) не соответствуют диаграмме поля оптимальной смеси. В какой пропорции следует смешать эти два материала, чтобы кривая смеси помещалась бы в поле оптимальной смеси? Для этого рассмотрим кривые просеивания и остановившись безразлично на каком диаметре отверстий сита (напр. на 1 мм), убедимся, что частиц этого размера материал «A» содержит 18%, а материал «B» — 86%. По оптимальной кривой видим, что такого материала должно быть в составе гравия 35%. Чтобы достичь этого, надлежит взять оба сорта гравия в известной пропорции, чтобы общий просев составных частей составил бы 35%. Согласно формул на стр. 35 получим 75% материала «A» и 25% материала «B», и 1 мм зерен  $0,75 \times 18 + 0,25 \times 86 = 35\%$ . Чтобы разрешить вопрос, где располагается при таком соотношении кривая смешанного материала на диаграмме просеивания, умножим данные просеивания обоих материалов на выбранные на основании расчётов проценты и сложим их, как это сделано на следующей за рис. 15. таблице. Полученные результаты нанесём на диаграмму кривых просеивания и получим кривую состава гравия на поле оптимальной смеси. В данном случае она вместилась в поле оптимальной смеси и, следовательно, чтобы получить качественный материал, необходимо взять материала «A» — 75% и материала «B» — 25%.

На рис. 16 изображено составление смеси из трёх составных частей; составляется уравнение первой степени с одним неизвестным и решается оно. Результат: 69% А + 19% В + 12% глины.

Под материалами А и В подразумеваются сорта местного гравия, не соответствующие порознь по своему гранулометрическому составу требованиям оптимальной смеси.

## ГЛАВА VI.

### ОБ ОПЫТАХ СТАБИЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЙ.

Ветер и вода уносят ежегодно в виде мелких частиц и пыли с дороги около 25—30% укладываемого материала. Наличие в материале мелких частиц в виде глины и пыли однако необходимо для связности покрытия. Задачей является, каким образом связать мелкие частицы в покрытии, чтобы уменьшить их потерю под действием автомобильного движения и атмосферных влияний.

Чтобы связать мелкие частицы в покрытии и обеспылить его, автором производились опыты по стабилизации материала покрытия хлористым кальцием, масляной эмульсией, сланцевым маслом и сульфитной щёлочью.

Краткая сводка результатов, опытов приводится ниже:

Покрытие, стабилизованное масляной эмульсией (0,396 кг/кв. м), удовлетворяло в небольшой степени поставленным требованиям. С увеличением количества эмульсии эффект повышался. Поверхность проезжей части должна быть при обработке эмульсией плотной и ровной.

Наилучшие результаты дало периодическое обеспыливание хлористым кальцием.

Сланцевое масло покрывало поверхность дороги ковриком, но позже изнашивалось и исчезало. Это масло не препятствовало проникновению дождевой воды в покрытие, но препятсвовало испарению влаги из покрытия и обработке поверхности дороги грейдером.

Поверхность дороги, обеспыленной сульфитной щёлочью, получала твёрдое, блестящее и плотное покрытие, но кристаллы щёлочи растворялись дождевой водой. Дорогу можно было утюжить грейдером в сырое время. Активная сульфитная щёлочь вызывает коррозию металлических частей, но её можно нейтрализовать добавкой 1,5—2% извести по весу.

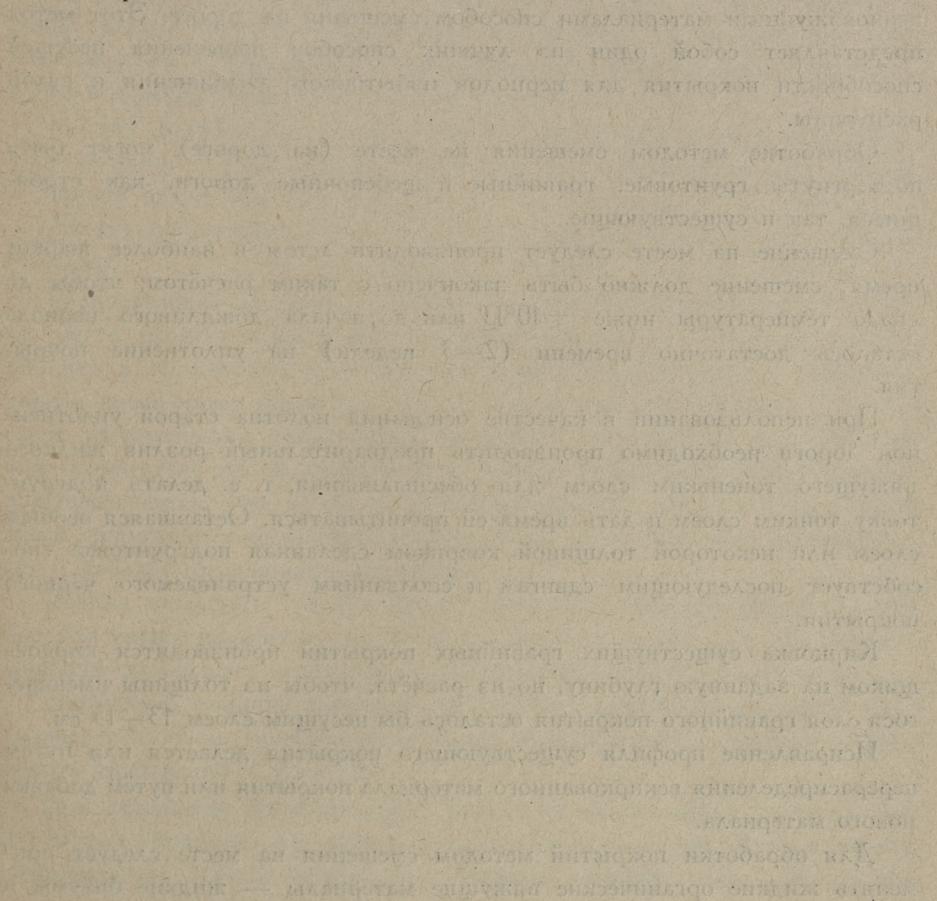
По данным литературы сульфитная щёлочь имеет дезинфекционные свойства, поэтому хороша с гигиенической точки зрения.

Хлористый кальций при продолжительных осадках делает поверх-

ность дороги скользкой и грязной. Это явление наблюдается особенно при известковом (плитняковом) материале покрытия, при кремнистом материале этих недостатков не наблюдалось.

Обеспыливание хлористым кальцием ослабляет связь битумных веществ с поверхностью дороги (при последующем чернении дорог). Этих явлений не наблюдалось при употреблении сульфитной щёлочи.

В самостоятельной главе автором даются указания для применения оптимальной смеси гравия для укладки в покрытие при содержании дорог ЭССР и в ответ на вопрос, сколько может быть несвязанного материала на поверхности дороги, даёт рис. 9, на котором показано, что несвязанного материала может быть только столько, чтобы покрышка колеса автомашины оставляла заметный след своего рисунка на поверхности дороги.



## ГЛАВА VIII.

### ПЕРЕХОД ОТ ГРАВИЙНЫХ ПОКРЫТИЙ К ПОКРЫТИЯМ СТАБИЛИЗИРОВАННЫМ ЧЕРНОВЯЖУЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ.

Одним из видов перехода гравийных покрытий на усовершенствованные покрытия облегченного типа является обработка гравийных покрытий черновяжущими материалами способом смешения на дороге. Этот метод представляет собой один из лучших способов повышения несущей способности покрытия для периодов избыточного увлажнения и сухой распутицы.

Обработке методом смешения на месте (на дороге) могут быть подвергнуты грунтовые, гравийные и щебеночные дороги, как строящиеся, так и существующие.

Смешение на месте следует производить летом в наиболее жаркое время: смешение должно быть закончено с таким расчётом, чтобы до спада температуры ниже  $+10^{\circ}\text{Ц}$  или до начала дождливого периода осталось достаточно времени (2—3 недели) на уплотнение покрытия.

При использовании в качестве основания полотна старой уплотненной дороги необходимо производить предварительный розлив жидкого вяжущего тоненьkim слоем для обеспыливания, т. е. делать подгрунтовку тонким слоем и дать врем я ей пропитываться. Оставшаяся особым слоем или некоторой толщиной ковриком сделанная подгрунтовка способствует последующим сдвигам и сползаниям устраиваемого чёрного покрытия.

Кирковка существующих гравийных покрытий производится кирковщиком на заданную глубину, но из расчёта, чтобы из толщины имеющегося слоя гравийного покрытия осталось бы несущим слоем 13—15 см.

Исправление профиля существующего покрытия делается или путём перераспределения вскиркованного материала покрытия или путём добавки нового материала.

Для обработки покрытий методом смешения на месте следует применять жидкие органические вяжущие материалы — жидкие битумы и

дёгти — в холодном или подогретом до  $60—100^{\circ}\text{Ц}$  состоянии. Нагрев вяжущих выше температуры, необходимой для нормального вытекания материала из гудронатора, нецелесообразен.

Производственный процесс при обработке черными вяжущими материалами гравийных покрытий, как без добавления нового минерального материала, так и с добавлением его, слагается из следующих операций:

, очистка существующего покрытия, кирковка, исправление профиля, предварительный розлив жидкого вяжущего (подгрунтовка), добавка нового материала, розлив вяжущих материалов в несколько приемов в среднем по  $2 \text{ л}/\text{м}^2$ , предварительное смешивание минерального материала с вяжущим после каждого розлива авто-грейдерами и миксером в 2 прохода того и другого механизма по одному следу, основное перемешивание грейдерами и миксером (мощным сложным рипером) в  $20—30$  проходов по одному следу (при пылеватом материале 1,5 раза больше), разравнивание смеси с приданием правильного поперечного профиля, укатка средними катками и производство поверхностной обработки после формирования покрытия (через 2 недели после укатки).

Работы должны как правило производиться при наружной температуре не ниже  $+10^{\circ}\text{Ц}$ . Дёготь разливается при температуре  $100—120^{\circ}\text{Ц}$ , а жидкий битум при  $60—90^{\circ}\text{Ц}$ .

Укатку производят катком в  $6—8$  тн. проходами  $4—6$  раз по одному следу.

Распределение вяжущего материала при обработке методом смешения на месте следует производить в несколько приемов. Если вяжущее розлито в количестве, несколько **меньшем** оптимального, то обрабатываемая смесь имеет **сухой** вид. Даже незначительный **избыток** вяжущего сверх оптимального оказывается заметно: смесь приобретает **жирный** вид, комкуется; перемешивание становится затруднительным. Излишек вяжущего портит уже почти готовую смесь, так как исправление жирной смеси сопряжено с большими затратами на дополнительное перемешивание и добавку отщающего материала.

Розлив вяжущего следует производить на несколько меньшую, чем предусмотрено, ширину — на  $0,5$  м с каждой стороны, т. к. при перемешивании происходит некоторое разбрасывание материала в сторону.

Нормально толщину покрытия, получаемую смешением на дороге, принимают в  $6—7$  см. Гравийный материал подсчитывается с учётом коэффициента уплотнения  $1,25—1,35$ .

При обработке существующего покрытия на большую толщину (от  $8—10$  см) обработку смешением производят в два слоя. В этом случае рекомендуется сначала произвести обработку верхнего слоя и убрать его

на сторону, а затем обработать нижний слой. После уплотнения катком нижнего слоя распределяют готовый материал верхнего слоя грейдером на требуемую ширину обрабатываемого покрытия.

Уплотнение покрытия производится моторными катками весом 7—8 т. При уплотнении покрытий наблюдается прилипание минерального материала к барабану катка; для устранения этого явления необходимо смачивать барабан нефтью или водой. Для более быстрого уплотнения рекомендуется при укатке в засушливый период поливать покрытие водой в количестве 2—3 л/кв. м.

Производство поверхностной обработки на укатанный чёрный гравийный слой вообще желательно, но по климатическим условиям Эстонской ССР оно даже обязательно, так как закупорка поверхности является решающим условием для долгосрочности покрытия. Коврик-поверхностная обработка — должен хорошо сцепляться с основным покрытием. Коврик обеспечивает водонепроницаемость. Коврик может быть тонкий, т. к. износ покрытия вообще совсем незначительный. Битум для него необходим более вязкий, и к укладке коврика приступают после уплотнения и сформирования слоя чёрной смеси т. е. после 2—3 недель.

Грунты, содержащие свыше 15% глинистых частиц, обрабатывать способом смешения на месте не рекомендуется.

Вяжущий материал должен быть достаточно жидким для хорошего обволакивания минерального материала при смешении, но он должен одновременно обладать сцеплением, чтобы после окончания работ и уплотнения смеси быстро связать каменный материал. Таким условиям лучше всего удовлетворяют жидкие битумы, густеющие со средней скоростью (класс А).

Гравийные материалы составов I-а, II-а и III-а имеют норму розлива вяжущего 3—5,5% от веса смеси, и для смешения употребляется жидкий битум класса А, густеющий со средней скоростью, марки АГ-4 и АП-3 или дорожные дёгти марки Д-3 и Д-4. Гравийный материал состава IV-а имеет норму расхода вяжущего 5—5,5% от веса смеси, и для смешения употребляется жидкий битум марки АГ-4 или же дорожный дёготь марки Д-3. Для перечисленных гравийных материалов с малым содержанием пылеватых и глинистых фракций — составы I-а, II-а, III-а и IV-а — нужно использовать только жидкие битумы, **густеющие со средней скоростью**, т. е. вяжущие материалы, имеющие большую конечную вязкость. Для составов гравия 1-б идёт 4—5,5% жидкого битума марки АГ-4 или дорожного дёгтя Д-3 или жидкого битума класса Б, **медленно густеющего**, марки БГ-4. Для гравийных материалов составов II-б, III-б и IV-б расход вяжущего 4,5—7%, марок АГ-4 или Д-3 или БГ-4.

Нормы верхнего предела расхода вяжущего применяются для мелко-зернистых смесей с содержанием пылеватых и глинистых частиц до 20%, а нижнего — для смесей крупнозернистых с малым содержанием пылеватых и глинистых частиц.

Количество вяжущего определяется в лаборатории путём изготовления ряда смесей — образцов с различным соотношением вяжущего материала.

Битум склеивается только в тончайших прослойках. Межзерновое пространство заполняется вяжущим и его наибольший эффект обеспечивается тогда, когда он даёт максимальное скеление, а это при большей тонкости плёнки.

Избыток вяжущих в смеси покрытия хорошо обеспечивает дорожную одежду против вредного влияния воды, но уменьшает механическую прочность покрытия: появляются сдвиги и смещения, что влечёт к наплывам и волнам.

Битум в тонких плёнках как-то крепче соединяет крупинки агрегата и лучше противодействует наружным механическим усилиям.

Прочность покрытия будет обеспечена при оптимальной плотности материала покрытия. Оптимальная плотность покрытия назначается испытаниями в лаборатории на водонасыщаемость. Пределы водонасыщаемости должны быть: не менее 1,5—2% по объёму и не более 4%, т. е. проба чёрного покрытия, имеющая процент водонасыщаемости меньше 1,5—2%, содержит много органического вяжущего материала и оно потому не прочное.

В каменный остов требуется вводить большее количество заполнителя — мелких материалов — чтобы этим увеличить удельную поверхность остова и получить тонкую плёнку битума в межзерновом пространстве. Получается плотное и прочное тело покрытия (удельная поверхность агрегата большая и битум в тоненьких плёнках между зёренами).

Укладкой смесь эта на дороге уплотняется, а самоукаткой и под воздействием солнца формируется.

Отвод атмосферных осадков от полотна дороги должен быть обеспечен полностью кюветами, а грунтовых вод — соответствующими дренажными устройствами.

При обработке методом смешения на месте гравийных покрытий лучшие результаты получаются при обработке покрытия из естественного или подобранныго по фракциям гравийного материала с фракциями не крупнее 25 мм. Вообще максимальный размер фракций должен быть не более 0,65 толщины чёрного гравийного покрытия и 0,60 толщины щебёночного покрытия. При обработке гравийного материала с зёренами

размером крупнее 25 мм покрытие дороги будет менее ровным и менее плотным, и разрушение начнётся с выбивания более крупных частиц.

Гранулометрический состав гравийных составов I-а, II-а, III-а и IV-а, а также I-б, II-б, III-б и IV-б изображается графически на диаграммах кривых просеивания (в логарифмической сетке) следующим образом: см. рисунки №№ 17, 18 и 19.

Применяемый для обработки гравийный материал должен иметь оптимальную влажность, т. е. влажность от 2 до 5%, по весу, при которой расходуется оптимальное количество вяжущего и достигается лучшее объединение с ним.

**Приготовление жидких битумов** класса А и класса Б (класса А — жидкие битумы, густеющие со средней скоростью и класса Б — жидкие битумы, медленно густеющие) на месте работ сводится к разжижению битумов и производится это следующим образом: сначала битум разогревают до температуры 80—120°Ц — в зависимости от применяемого разжижителя; для лёгких разжижителей — нижний предел, для тяжёлых — верхний. После того, как битум разогрет до требуемой температуры и хорошо вымешан, его или подают в специальный котёл для разжижения, или в него вливают разжижитель при перемешивании. Если разжижитель лёгкий, то следует предварительно загасить огонь в топке. Соотношение битума и разжижителя для требуемой марки назначается лабораторией. По окончании перемешивания готового жидкого битума берут первую пробу для определения вязкости; если вязкость получается выше заданной, то добавляется разжижитель, а если ниже, то добавляется битум. Лучше взять лишнюю пробу, пока ещё не выпито всей намеченное количество разжижителя, чем потом добавлять битум, так как добавка битума сопряжена с большими неудобствами.

Жидким битумам предъявляются требования:

Бит. жидкие		Дёготь Д—4	Дёготь Д—3
АГ —4	БП —3		
БГ —4	АП —3	—	—
БЖС—4	БЖС—3	—	—

Вязкость по вискозиметру с диаметром, сточного отверстия 5 мм при 60°Ц в секунду, в пределах.  
То же, с отверстием 10 мм при 30°Ц в сек.

20—35      15—25      —      —  
—      —      20—50      5—20

Это было описание приготовления жидкого битума из дорожных битумов (т. е. вязких битумов).

Ниже будет ещё описано **приготовление дорожного дёгтя**. Приготовление дорожных дёгтей производится следующим образом: в котёл загружается каменноугольный пек (по весу) и нагревается при постоянном перемешивании до полного расплавления (температура до  $150^{\circ}\text{Ц}$ ). После этого подогрев прекращается, и в котёл вливают каменноугольное масло при постоянном перемешивании. При этом температура в котле падает до  $110-120^{\circ}\text{Ц}$ , т. е. до рабочей температуры применения дёгтя на дороге. Когда достигнуто полное объединение пека с маслом, производится проверка его вязкости. В случае, если вязкость не отвечает требуемой, производится соответственно добавка пека или масла.

Жидкие битумы, необходимые для производства чёрных покрытий способом смешения на дороге, можно приготавлять и **посредством окисления тяжёлого сланцевого масла** его нагреванием и продувкою воздухом.

Сланцевое масло нагревается в котлах и это обыкновенно при температуре  $+100^{\circ}\text{Ц}$  начинается продувание его воздухом, применяя для продувки мощные компрессоры. Мощность компрессора подсказана необходимостью дать каждому килограмму сланцевого масла воздуха в порядке 6 литров в минуту: например для котла в 6 тн. нужен компрессор  $6 \times 6000 = 36\,000$  литров = 36 куб. м воздуха в минуту.

Сланцевое масло постепенно окисляется в битум желаемой вязкости или марки; сперва получаются жидкие, а постепенно образуются вязкие — дорожные битумы. Пробы на испытание вязкости получаемых битумов необходимо взять через каждый час.

При продувке нужно соблюсти нижеследующие условия:

1) битумы, как вязкие, так и жидкие, требуют для своего окисления при их продувке известного константного объёма воздуха, т. е. при известной температуре продувки является постоянным произведение скорости воздуха продувания и времени продувки и этот объём при разных температурах продувки различный, а именно: при более высоких температурах он несколько десятков раз меньше, чем при низких температурах; так например при  $200^{\circ}\text{Ц}$  продувки объём воздуха, необходимого для окисления в 30 раз меньше, чем при  $100^{\circ}\text{Ц}$  продувки, или при продувке при  $150^{\circ}\text{Ц}$  он в 5 раз меньше, чем при  $100^{\circ}\text{Ц}$  и т. д. при  $280^{\circ}\text{Ц}$  в 90 раз меньше, чем при  $100^{\circ}\text{Ц}$ ;

2) но продувка должна производиться при температуре не выше  $150^{\circ}\text{Ц}$ , так как вязкий битум, получаемый при продувке при температуре  $180-220^{\circ}\text{Ц}$  более хрупкий: он имеет при вторичном нагревании остающуюся пенетрацию только в порядке 30% от первоначальной пенетрации (вместо, скажем, 40—50%, когда продувка производится при тем-

пературе ниже  $150^{\circ}\text{Ц}$ ; кроме того битум, получаемый продувкою при высоких температурах нестабилен: с течением времени он становится хрупким, точка температуры его размягчения повышается даже на  $30^{\circ}\text{Ц}$  вместо имеющегося, скажем  $40^{\circ}\text{Ц}$  точка размягчения становится например  $60^{\circ}—70^{\circ}\text{Ц}$ ;

3) температуру продувания, стало быть, не следует, для получения хорошего битума, превышать  $150^{\circ}\text{Ц}$ ;

продувка сланцевого масла в сланцевый битум должна производиться в возможно кратчайшее время (но при температуре не выше  $150^{\circ}\text{Ц}$ ), т. е. скорость воздуха для продувания должна быть большая: на каждый килограмм продуваемой сланцевой смолы не менее 4 литров воздуха в минуту;

4) иметь в виду, что с повышением температуры битума во время продувания повышается температура размягчения и понижается процент остающейся пенетрации;

5) для изготовления битума необходимо применять самые тяжёлые сланцевые смолы, во избежание у полученного битума низкой температуры вспышки и большой потери при нагревании;

6) к продувке сланцевого масла можно приступить уже при температуре  $70—80^{\circ}\text{Ц}$ .

При соблюдении вышеперечисленных условий из сланцевой смолы можно изготавливать битум, который по показателям стабильности не уступает битумам нефтяного происхождения, а потому мнение, будто бы битумы из сланцевой смолы вообще не могут соответствовать нормам, установленным на нефтебитумы, преждевременное (см. труд канд. химич. наук И. А. Уск об изготовлении битума из тяжёлой сланцевой смолы).

Расчёт подбора смесей гравийно-щебёночных материалов, применяемых при устройстве чёрных покрытий способом смешения на дороге делается исходя из гранулометрических составов материалов: существующего покрытия дороги, материала карьера, материала от камнедробильной установки и т. д.

Данные о гранулометрических составах графически наносятся на диаграмму и аналитически отмечаются в таблице и потом делаются соответствующие вычисления, придерживаясь алгебраических знаков при математических вычислениях, как это приведено на рисунках № 20, 21 и 22.

Каждая фракция взятых для смешения составителей подсказывает свой известный процент, т. е. своё известное соотношение для взятых на смешение материалов, но в конечном итоге этот процент берётся как среднее арифметическое из всех процентов, подсказанных одиночными фракциями материалов.

При смешивании, например, двух материалов  $A_1$  и  $A_2$ , из которых

$A_1$  — более мелкий, а  $A_2$  — более крупный материал, для получения проектируемого состава  $B$  следует пользоваться простой формулой соотношения ординат их кривых против какого-нибудь сита:

$$\text{объём } A_2 = \frac{A_1 - B}{B - A_2} \text{ от объёма } A_1, \text{ т. е. объёмы двух составителей}$$

обратно-пропорциональны отношению разностей ординат кривых проектируемой смеси и составителей. Или же следующей формулой определяется процент материала  $A_2$  от общего объёма смеси:

$$\Gamma \% = \frac{\frac{A_1 - B}{B - A_2} \times 100}{1 + \frac{A_1 - B}{B - A_2}} = \frac{(A_1 - B) \times 100}{B - A_2 + A_1 - B} = \frac{A_1 - B}{A_1 - A_2} \times 100$$

$$\text{«}\Gamma\text{» \% материала } A_2 = \frac{\text{разность ордин. } A_1 - B}{\text{разность ордин. } A_1 - A_2} \times 100, \text{ от общего объёма.}$$

Сумма от складывания всех « $\Gamma$ » (вычисленных против каждой фракции) делится на число фракций (число сит), принимая во внимание и все ноли процентов (там, где разности ординат, например, 0 и 15 или 0 и (—)10 и т. д. о : а = 0, о : (—) а = 0), как обыкновенные слагаемые процентов, принимающие участие в решении процентов составителей.

Но при вычислении среднего процента нужно выпустить из числа слагаемых все те сита (фракции), которые имеют в расчёте в графе процента « $\Gamma$ » — «черту»; а черта эта получается против тех фракций, где

отношение  $\frac{A_1 - B}{B - A_2}$ , т. е. отношение разностей ординат относительно  $B$  в

абсолютном выражении равняется минус единице или неопределённости: первый случай, например,  $5 : (-) 5 = (-) 1; (-) 15 : 15 = -1$  и т. д., т. е. где процент для  $A_2$  равняется бесконечности

( $\frac{5 \times 100}{5 - 5} = \frac{500}{0} = \infty \%$ ); второй случай, где процент для  $A_2$  равен

$\frac{0}{0} \times 100 = \text{неопределён.}$ ; первый процент получается в том случае, когда оба составителя при данной фракции в одинаковой мере не удовлетворяют заданный проектируемый состав; а второй случай, когда оба составителя в одинаковой мере удовлетворяют проектному; таковые фракции

всесело выпадают от участия в решении процентуального соотношения принимаемых материалов, и в графу процента ставится «чёрта».

При получении в расчёте отрицательных процентов (например при разности ординат относительно Б 4 и (—) 9 или 7 и (—) 11 и т. д., где процент добавок  $A_2$  математически определяется  $400:(-5) = -80\%$  или  $700:(-4) = -175\%$  и т. д.), где стало быть, материал  $A_1$  своими названными фракциями не удовлетворяет требованиям проектируемого состава и где материал  $A_2$  ещё больше не годится для смеси на получение проектируемого состава, там из практических соображений рекомендуется в графу процентов относительно этих фракций (сит) в место отрицательных процентов писать ноль, что хотя и даёт некоторую ошибку в пользу материала  $A_2$ .

Так же рекомендуется при получении в расчёте компонентов смеси процентов больше 100% (как, например, при разностях ординат относительно Б, скажем, 18 и (—) 10 был бы процент материала

$$A_2 = \frac{18 \times 100}{18 - 10} = 225\% \text{ и т. д.) писать в графу процента только}$$

«100%», это значит, что для смеси необходимо взять всецело материал  $A_2$ , который хотя и не удовлетворяет требованиям проектируемого, но в сравнении с материалом  $A_1$  при данных фракциях он на много лучше  $A_1$ .

Отрицательные проценты для некоторых сит (фракции) и положительные проценты свыше 100% при других ситах применяются при точных подсчётах. Вполне очевидно, что при таком точном математическом подсчёте и назначении среднего процента материала  $A_2$  по алгебраической сумме одиночных процентов всех фракций, мы будем иметь смесь из наших двух взятых материалов такую, которая максимально удовлетворяет заданному проектному составу по всем его фракциям. Ясно, что такой состав не может удовлетворять ни одной фракции проектируемого состава полностью, но зато после смешения компонентов по найденному «среднему» проценту для  $A_2$  получаемый состав удовлетворяет всем фракциям проектируемого состава максимально.

Взяв в графу процентов вместо всех отрицательных ноль и вместо положительных свыше 100% только 100%, мы допускаем некоторую неточность, которая отчасти взаимно аннулируется (уничтожается) и отчасти не имеет при практическом смешении на производстве особого значения (получая средний процент, например, 34% и 37% или 53% и 56%, мы смешиваем наши взятые компоненты всё же в округлённой пропорции: скажем 35% или во втором случае 55%):

При разностях ординат составителей относительно ординат смеси Б,

например таких, как (—) 5 и 0 или + 15 и 0 и т. д., процент материала A<sub>2</sub> будет 100%, т. к.

$$\frac{(-) 5 \times 100}{(-) 5} = + 100\% \text{ или } \frac{+15 \times 100}{+15} = + 100\%$$

В практической работе процентное соотношение двух смешиваемых материалов назначается по трём—четырём более характерным фракциям (0,074; 1,000; 5,600; 25,000 мм) и берётся из этих полученных процентов среднее; гранулометрический состав смеси вычисляется аналитически, исходя из полученного среднего процента; гранулометрический состав этого нового состава графически контролируется (на диаграмме) с гранулометрическим составом проектируемого состава.

В случае, когда из двух компонентов не удаётся всё же составить смесь необходимого проектируемого гранулометрического состава, то вводится ещё третий компонент в смесь и подсчёт его объёма и смеси от первого смешения делается в этой же таблице — расчёте, но вторым приёмом, как это указано на рисунке 21.

Так получается оптимальный состав гравийно — щебеночных материалов для устройства чёрных покрытий способом смешения на дороге.

## ГЛАВА IX.

### ПРИЗНАКИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ПОКРЫТИЯ ГРАВИЙНЫХ ДОРОГ.

Устойчивость земляного полотна и покрытия дорог зависит от качества материала, применяемого для их устройства. Это касается в полной мере и гравийных дорог. Особенно важным является умение разобраться в грунтах при полевых работах в отношении склонности их к пучинообразованию и дать достаточно точную характеристику пригодности грунтов для строительства по внешним признакам их, без применения лабораторных исследований и приборов. В последующем перечне дана сводка практических способов распознавания пригодности грунтов для строительства и содержания гравийных дорог с точки зрения склонности их к пучинообразованию.

---

I группа — не пучинистые грунты.

К ним относятся: торф, подзол, гравий и песок, у которого не более 50% частиц по весу проходит сквозь сито с отверстиями  $\varnothing 0,125$  мм.

---

II группа — умеренно-пучинистые грунты.

К ним относятся: болотный грунт, мох (сфагnum), чистая глина и моренный грунт.

---

III группа — сильно-пучинистые грунты.

К ним относятся: мелкий песок, плыун, суглинок, моренный грунт с высоким содержанием горного песка или плыуна, практически все грунты, у которых более 50% по весу проходит сквозь сито с отверстиями  $\varnothing 0,125$  мм.

При полевых работах необходимо выяснить, состоит ли грунт из:

А. Перегнивших органических веществ; в утвердительном случае имеем дело с торфом или подзолом, грунт относится к I группе.

Б. Значительного количества валунов и гравия, в котором мелкозернистый связывающий материал содержится в незначительном количестве или совершенно отсутствует; слепленный из такого грунта колобок при высыхании рассыпается. В таком случае имеем дело с **гравием**, и грунт относится к I группе.

В. Материала, содержащего мелкие связывающие фракции в таком количестве, что материал представляет собою отдельные глыбы или комья. В таком случае имеем дело с **моренным грунтом**, и материал относится ко II группе.

Необходим дополнительный анализ грунта, для чего необходимо просеять материал сквозь сите с отверстиями 2 мм, проход просеять сквозь сите с отв. 0,125 мм или лучше — с отв. 0,075 мм.

Если при этом не более 22% по весу проходит сквозь сите с отв. 0,125 мм или не более 17% проходит сквозь сите с отв. 0,075 мм, то грунт принадлежит к I группе.

Если более 22% по весу проходит сквозь сите с отв. 0,125 мм или более 17% — сквозь сите с отв. 0,075 мм, то грунт принадлежит ко II группе или к III группе, обыкновенно всё же к II группе.

Если грунт каменистый и беден гравием, а по признакам напоминает глину, то грунт принадлежит к III группе.

Г. Мелкозернистый плотной массы без растительных остатков, в которой галька и камни встречаются в виде исключения. Содержит ли грунт частицы песка, различимые простым глазом, и является ли грунт шероховатым на ощупь, а слепленный из влажного грунта «орех» при высыхании или при поднятии пальцами и падении с высоты нескольких см легко рассыпается. В утвердительном случае, а также если при просеивании такого грунта менее 50% по весу проходит сквозь сите с отв. 0,125 мм, или менее 35% — сквозь сите с отв. 0,075 мм, то грунт представляет собою песок и относится к I группе.

Д. Однородной массы состава крупичатой или мягкой муки, в которой лишь отдельные крупинки различаются невооружённым глазом. Связаны ли настолько слепленные из грунта пробы, величиной с орех, что при сжатии между пальцами или падении на твёрдую поверхность они не разбиваются, а при просеивании такого грунта более 35% по весу проходит сквозь сите с отв. 0,075 мм.

В утвердительном случае необходимо кроме того выяснить:

1) Можно ли из сырого грунта в неклейком состоянии раскатать шнур толщиной в 1 мм, является ли проба грунта в сухом состоянии на-

столько твёрдой, что при царапании концом ножа не остаётся вовсе или остается едва заметная черта.

В утвердительном случае грунт представляет собой чистую **глину** и относится ко II группе.

К этой группе относятся также болотные и сфагnumовые грунты, похожие по свойствам на глину, но не имеющие при высыхании её твердости.

2) Можно ли из сырого грунта в неклейком состоянии раскатать шнур толщиной в 1 мм только с большим трудом; является ли проба грунта в сухом состоянии настолько твёрдой, что можно провести на ней ясную черту концом ножа; растекается ли при сотрясении слепленный из грунта колобок и становится ли он с поверхности снова матовым и сухим.

В утвердительном случае грунт представляет собой **суглинок** (**плыун, мелкий песок**) и принадлежит к III группе.

Если имеем дело с грунтом, принадлежащим ко II или к III группе, то при надобности необходимо продолжить исследование грунта с помощью следующих испытаний по распознаванию чистой глины, суглинка, плыуна и пылеватого песка.

#### **Признаки для чистой глины и суглинка, Ø 0,002 мм:**

- 1) блестящий разрез в сухом состоянии;
- 2) блеск поверхности остаётся неизменным при сотрясении;
- 3) при сжатии концов шнура, слепленного из материала, блеск поверхности не изменяется.

#### **Признаки для плыуна, Ø 0,02—0,1 мм:**

- 1) в сухом состоянии сдувается с ладони;
- 2) в сыром состоянии едва или вовсе не раскатывается.

#### **Признаки для пылеватого песка, Ø 0,002—0,02 мм:**

- 1) обладает связностью;
- 2) при высыхании остаётся в куске, между пальцами не распадается;
- 3) при сотрясении лепёшки на поверхности выступает вода и появляется блеск;
- 4) допускает раскатывание в шнур, но распадается;

5) при сжатии концов шнура расширяется в стыке, вода и блеск пропадают;

6) в воде растекается;

7) при нажатии на край лёпёшки поверхность становится матовой, при прекращении давления блеск появляется снова.

Для пылеватого песка указывать % мелкозернистого материала по анализу отмучивания.

## ГЛАВА X.

### СВОДКА РЕЗУЛЬТАТОВ.

Сводка результатов:

а) по части покрытий:

составлена диаграмма кривых просеивания для материала покрытия, соответствующего по своему гранулометрическому составу требованиям для постройки и содержания дорог в условиях Эстонской ССР, а также климатическим и метеорологическим условиям страны;

б) по части грунтов:

составлены и приведены практические методы, необходимые в наших условиях для распознавания пучинистых грунтов и годные для применения в первую очередь при полевых работах;

в) по части стабилизации материала покрытия и обеспыливания:

приведены результаты проведённых опытов по применению обеспыливающих средств, каковые данные могут быть основанием для дальнейших исследований по части стабилизации грунтов и материала покрытия органическими и минеральными вяжущими;

г) по части автомашин:

выяснено, что допускать к движению на дорогах можно только типы автомашин с шинами низкого давления и амортизаторами (для ослабления образования волн);

д) по части конструкции проезжей части:

надлежало бы избегать конструкций основания проезжей части, способствующих излишнему высыханию покрытия (например пористый пакляж на песчаном земполотне);

е) по части профилировки и утюжки дорог грейдерами;

профилировку и утюжку грейдерами поверхности проезжей части дорог производить таким образом, чтобы материал покрытия основательно перемешивался и неровности и волны удалялись бы «с корнем».

Исследовательской работой автора (вне рамок настоящей работы) установлено, что излишние затраты по движению, возникающие от плохого состояния дорог, достигали в быв. Эстонии по данным учёта движения на 1940 г. (в ценах этого года) до 5,6 млн. рублей. При надлежащем подборе состава и употреблении материала покрытия для гравийных дорог можно достичь экономии при эксплоатации автомашин по меньшей мере в размере означенной суммы.

## SISUKORD.

I peatükk. Eesti NSV-s leiduvad liivad ja kruusad	8
II peatükk. Jõuvankrite liiklemisel sõidutee pinnale tekkivatest deformatsioonidest	12
III peatükk. Optimaalse terastikulise koostise määramise meetodid	19
IV peatükk. Optimaalse kattekruusa koostamine sõelumiskõverate abil	27
V peatükk. Praktilisi juhendeid optimaalse terastikulise koostisega kattematerjali kasutamiseks kruusateede korras hoial	40
VI peatükk. Kattematerjali stabiliseerimise senistest katsetest	42
VII peatükk. Põhimõttelisi seisukohti sõidutee pinna kattematerjali stabiliseerimiseks tulevikus	45
VIII peatükk. Üleminek maanteedele kruuskatetelt bituumensideaineaga stabiliseeritud teekatetele	47
IX peatükk. Teimimistest külmaohtlike pinnaselikide äratundmiseks kruusatee muldkehade ja kattematerjalide valikul	65
X peatükk. Kokkuvõte	66

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

Глава I. Пески и гравий Эст. ССР . . . . .	69
Глава II. О деформациях покрытия и возникновениях волн и выбоин на гравийных дорогах . . . . .	71
Глава III. Метод для решения поставленной задачи и практические следствия для назначения оптимального гранулометрического состава гравия, как материала для постройки и содержания дорог . . . . .	73
Глава IV. Подбор оптимальной смеси гравия посредством кривых просеивания . . . . . Об изменениях, сделанных со временем на основании анализов и опытов, в диаграмме кривых просеивания оптимальной смеси гравия . . . . .	77
Глава VI. Об опытах стабилизации материала покрытий . . . . .	80
Глава VIII. Переход от гравийных покрытий к покрытиям, стабилизованным черновяжущими материалами . . . . .	82
Глава IX. Признаки для распознавания пучинистых грунтов при выборе материала для земляного полотна и покрытия гравийных дорог . . . . .	92
Глава X. Сводка результатов . . . . .	96



1519

# Protokoll pinnase urimistööde üle

Maantee nimetus ..... ja klass .....  
 Põikprofiili tüüp .....  
 Proovivõtuaugu asukoht ..... pik. ....  
 Proovivõtuaugu loodimiskõrgusarv (maapinnal) .....  
 Proovi võtmise aeg .....  
 Proovivõtja ametinimetus ja perekonnanimi .....

I rühm (külmaohutud pinnased)	II rühm (mõõdukalt külmaohutlikud pinnased)	III rühm (väga külmaohutlikud pinnased)
<p>Siaa kuuluvad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a turvas, rabamaa</li> <li>b kruus</li> <li>c liiv (maks. 50% kaalu järgi läbib sõela augud Ø 0,125 mm)</li> </ul>	<p>Siaa kuuluvad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a soo, raba</li> <li>b sau</li> <li>c moreenmaa</li> </ul>	<p>Siaa kuuluvad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a peen nõmmeliiv, tuhklivi, savi</li> <li>b moreenmaa tuhklivi või nõmmeliiva kõrge sisaldu-sega.</li> <li>Praktiliselt kõik pinnased, mida enam kui 50% kaalu järgi läbib sõela aukudest Ø 0,125 mm</li> </ul>

## VALISTÖÖDEL SELGITADA, kas pinnas koosneb

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	
kõdunenud organaanilis-test ollustest. Jaataval korral on tegemist turba ja raba-maga. Pinnas kuulub I rühma.	nimetamisväärsel hulgjal kividest ja kruusast, milles pinnasematerjal puudub täielikult või leidub seda vaid vähesel määral ja millist pinnast ei saa vormida känkudeks, mis pärast kuvamist säilitaksid vormi. Jaataval korral on tegemist kruusaga. Pinnas kuulub I rühma.	materjalist, milles peeneteralist tihedast massit, milles vaid erandina võib leiduda kive ja kruusaokesi, kuid mitte taimestiku jäänu-seid. Jaataval korral on tegemist moreenmaaga. Pinnas kuulub II rühma. Vajab täiendavat analüüs-i sõelusa pinnase materjal läbi 2-mm aukudega sõela. Sõela-alune sõeluda läbi 0,125-mm või veel parem läbi 0,075-mm aukudega sõela. a) kui sealjuures ei lähe üle 22% kaalu järgi läbi sõela aukude Ø 0,125 mm või mitte üle 17% läbi sõela aukude Ø 0,075 mm, siis pinnas kuulub II või III rühma; tavaiselt siiski II rühma. b) kui üle 22 kaaluprotsendi läbib sõela aukudega 0,125 mm või enam kui 17% sõelast aukudega Ø 0,075 mm, siis pinnas kuulub II või III rühma; tavaiselt siiski II rühma. c) kui pinnas on kivikas, kuid kruusavaene ja omaduselt meenutab tavalist kruusavaava savi, kuulub pinnas III rühma.	peeneteralisest tihedast mas-sist, milles vaid erandina võib leiduda kive ja kruusaokesi, kuid mitte taimestiku jäänu-seid. Kas pinnas on liivane, kas üksikuid materjaliterakesi võib tajuda palja silmaga ja kas materjal on sõrmeste vahel kumbates kare? Kas niikest pinnasest „pählik-iks“ vormitud kehake muutub pärast kuvamist rabe-daks ja kergesti lagunevaks? Kas proovikehake talub töst-mist sõrmeste vahel, kas seda mitte taludes puruneb ja kas ta kukkumisel mõne sm kõrguselt kõvale pinnale puruneb täiesti peeneks? Kui vastused on jaatavad ja kui sõelumisel sellist pinnast lähev vähem kui 50% kaalu järgi läbi sõela aukude Ø 0,125 mm või vähem kui 35% läbi sõela aukude Ø 0,075 mm, siis on tegemist liivaga. Pinnas kuulub I rühma.	pinnas tundub jahuaolisena või siledana ja ainult üksikud terakesed on nähtavad palja silmaga. Kas pähklisuurusteks terakesteks vormitud proovid on pärast kuvamist nii tihedalt sidustunud, et nad sõrmeste vahel pigistami-sel või kukkumisel kõvale aluspinnale ei purune? Kas sõelumisel läbib sääras pinnast rohke kui 35% kaalu järgi sõela aukudega 0,075 mm? Jaatavate vastuste puhul tuleb edasi selgi-tada: a) kas mittekleepu-vas niikses olekus pinnas laseb end rullida ca 1 mm jämeduseks „traadiks“? Kas pinnase proov kuiwas olekus on ni kõva, et noootsaga kraapiimisel ei jäta üldse või jätab vee-valt nähtavaid kriipse? Jaataval korral on tegu sauega. Pinnas kuulub II rühma. Siias rühma arvatakse ka soo ja raba, mis oma omadusilt sarnanevad sauega, kuid kuvamisel muutuvad vähem kõvaks.	Kas kuivas olekus proov kuiwas olekus on ni kõva, et noootsaga kraapiimisel ei jäta üldse või jätab vee-valt nähtavaid kriipse? Jaataval korral on tegu sauega. Pinnas kuulub III rühma.

Olles toimetanud määramise, KIRJUTAGE vastused alljärgnevaille ruutudesse ühes väljaselgitatud kiitide järjekorranumbritega ja pinnase nimetustega

## Üldandmed pinnase kohta

Põhjavee taseme kõrgus loodimise andmeil	Ilm proovi võtmise ajal ja ilmastik viimase kahe nädala keskel	Kihi järekorrانumber	Pinnase nimetus	Kihi pealmine pinnase loodimiskõrgusarv ja paksus	Muud vajalikud märkmed	Märkusi. Vastused täiendavate teimimiste üle kirjutada kohastiku pinnase nimetuse ja järjekorranumbriga.	Kuivas olekus on lõikepind läikiv Raputamisel jääb pinnal läige muutumatust. Materjalist vormitud „traadi“ otsi surumisel teineteise vastu ei muutu piina läige	Kuivas olekus on peo pealt ärapuhutav Niiskeks olekus vaevalt- või mitterullitav Omab nüdisust	Tuukliiv Sau ja savi Ø 0,002 mm	Tuukliiv Ø 0,02–0,1 mm	Möll Ø 0,002–0,02 mm	
12 tunni järel	kõrgeim seis			Pinnase proovivõtmise viis (prooviavuk, pürauk, oraga jne.)	Pinnase värvis				Jääb kuivamisel tükki, sõrmeste vahel ei pudene	Raputamisel ilmub pinnale vett ja pind muutub läikivaks	Laseb end rullida traadiks	Tradiks rullimisel katkeb Traadi otsite kokkusrumisel paiskii liitekahas; vesi ja läige keovad

T R Ü K I V E A D

Lk.	Rida	Trükitud	Peb oloma	Kelle viga
4	16 alt	1950	1940	Kirjastus
	15 alt	kapitaalmahutiste	kapitalmahutiste	autor
5	13 alt	1000	(1000	kirjastus
6	7 alt	meteoroogilistel	meteoroloogilistel	„
50	16 alt	soendab	seondab	„
69	3 ülalt	сравнительно	сравнительно	trükikoda
74	15 ülalt	влаги и нём	влаги в нём	kirjastus
	5 alt	располагаются	располагаются	trükikoda
92	10 alt	50%	22%	autorid (täpsustamise tõttu)
Lisa- proto- koll	13 ülalt	maks. 50%	maks. 22%	autorid (täpsustamise tõttu)



Vastutav toimetaja A. Zupping

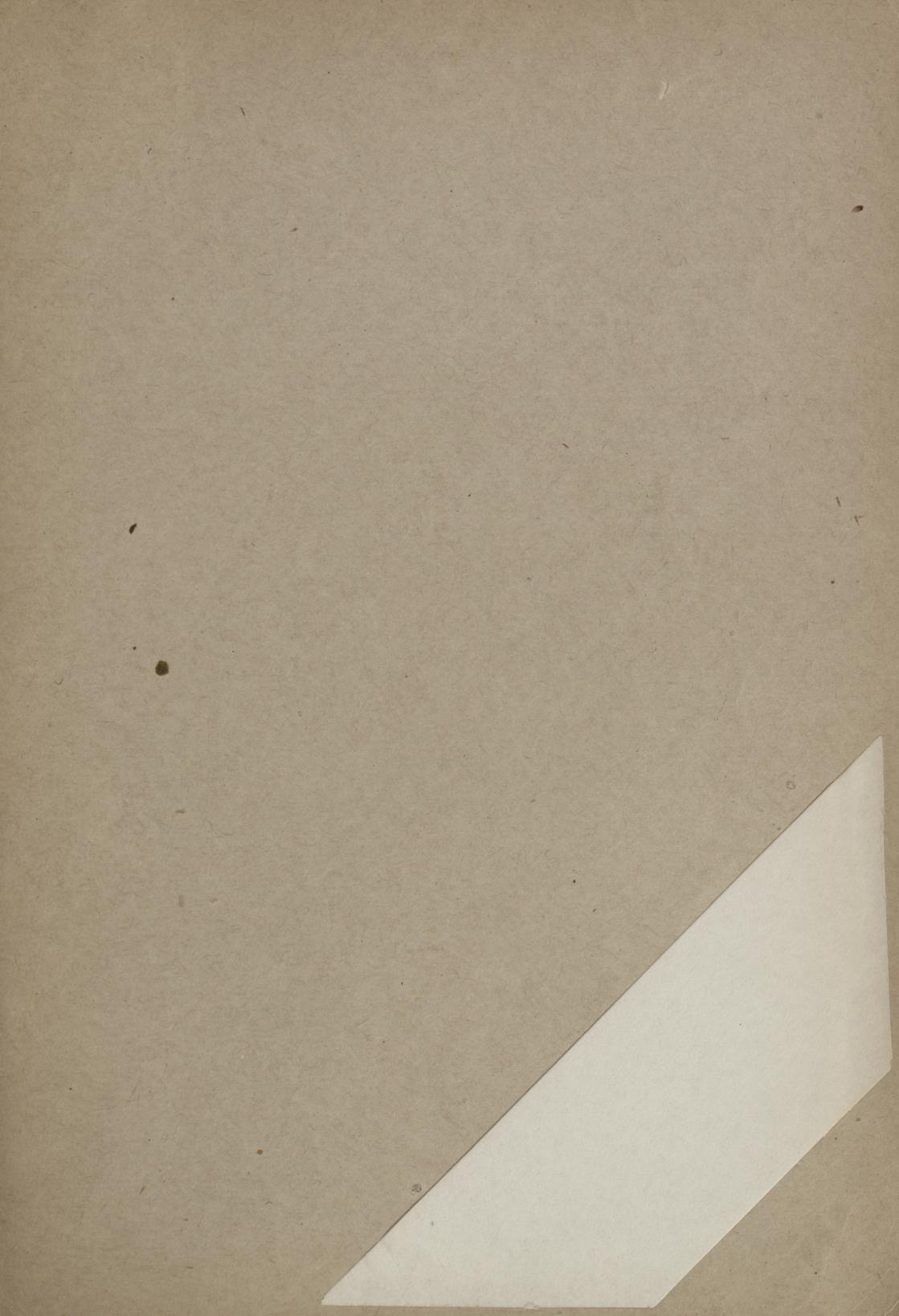
Tehniline toimetaja K. Einberg

Ladumisele antud 19. I 1951. Trükkimisele antud 27. IX 1951. Trükipaber 1000. Paber 67×95, <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Trükipoognaid 6,25 + 1 lisa. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 7,19. Arvutuspoognaid 5,81. MB-13178. Tellimise nr. 145. Trükikoda „Punane Täht”, Tallinn, Pikk t. 54/58.

На эстонском и русском языках.

Hind rbl. 5.25





158mes - 53  
Rbl 525

