

Tie- ja vesirakennushallitus 1970

**MAARAKENNUSSALAN
TUTKIMUS- JA
SUUNNITTELUOHJEITA**

osa V

17416

08

TIE

MAA



VI D

UMā

MAARAKENNUSALAN TUTKIMUS- JA SUUNNITTELUOHJEITA

osa V

materiaalit, massojen käyttö ja työmenetelmät

Tämä kirja on viides osa viisiosaisesta sarjasta, jonka muodostavat:

- I maaperä ja sen tutkimismenetelmät
- II laboratoriotutkimukset
- III tutkimustöiden suunnittelu ja järjestely
- IV geoteknillinen suunnittelu ja perustamismenetelmät
- V materiaalit, massojen käyttö ja työmenetelmät

Helsinki 1970. Valtion painatuskeskus

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

17416

OSA V. SISÄLLYSLUETTELO

1.	MAALAJILUOKITUKSET ROUTIVUUDEN, KANTAVUUDEN JA KAIVETTAVUUDEN PERUSTEELLA	7
1.1	Routa ja routivuuden arvostelu	8
1.2	Pohjamaan ja tien alusrakenteen kantavuusluokitus	16
1.3	Kaivuluokitus	19
2.	RAKENNUSMATERIAALIEN LAATUVAATIMUKSET	29
2.1	Pengerrys- ja patomateriaalit	30
2.11	<i>Penkereet</i>	30
2.111	Maapenkereet	30
2.112	Kivipenkereet	34
2.113	Vastapenkereet	35
2.114	Ylipenkereet	35
2.115	Kevyet penkereet	35
2.12	<i>Maapadot</i>	37
2.121	Tyypit ja rakenteelliset osat	37
2.122	Tukipengermateriaalit	40
2.123	Tiivistyssydän	41
2.124	Suodatinmateriaalit	43
2.13	<i>Verbousmateriaalit</i>	45
2.2	Päällysrakenneaineokset	49
2.21	<i>Eristyskerros</i>	50
2.22	<i>Jakava kerros</i>	51
2.23	<i>Kantava kerros</i>	52
2.231	Sitomattomat kantavat kerrokset	53
2.232	Sidotut kantavat kerrokset	54
	Bitumisora (BS)	55
	Bitumihiekka (BH)	56
	Imeytyssepellys (Is)	57
	Massasepellys (Ms)	57
	Maabetoni (Mb)	57
	Sementtisepellys	58
2.24	<i>Kulutuserros</i>	59
	Asfalttibetoni (Ab)	59
	Sora-asfalttibetoni (SAb)	61
	Hiekka-asfalttibetoni (HAb)	62
	Tervabetoni (Tb)	63
	Valuasfaltti, konevaluasfaltti (VA, KoVA)	63
	Bitumiliuossora (BIS)	64
	Öljysora (ÖS)	65
	Soratien kulutuserros	65
2.25	<i>Pintaukset</i>	66
	Emulsiolietepintausta (EI)	66
	Tervalietaepintausta (TI)	67
	Siroteepintausta (Sip)	67

2.3	Muut materiaalit	68
2.31	<i>Betonin runkoaineet</i>	68
2.32	<i>Lämpöeristeet</i>	72
2.321	Eristysperiaatteet	72
2.322	Eristysaineen yleiset vaatimukset	72
2.323	Eristysaineet	73
	Mineraalivilla	73
	Kevytsoora	74
	Lastuvillalevy	75
	Vaahтомуovi	75
2.33	<i>Kaivantojen täyttömateriaalit</i>	76
2.331	Vesijohdot ja viemärit	77
2.332	Rummut	79
2.333	Salaojat	80
2.334	Kaapelit	82
2.335	Kaivot	82
2.336	Siirtymäkiilat	82
3.	MASSOJEN KÄYTÖN SUUNNITTELU	85
3.1	Massatalouden käsitteestä	86
3.2	Maarakennustöiden kustannukset tienrakennustöissä	87
3.3	Massojen laatuun ja käyttökelpoisuuteen vaikuttavista tekijöistä ..	89
3.31	<i>Vesipitoisuus</i>	89
3.32	<i>Kivisyys</i>	93
3.33	<i>Kerrostuneisuus ja tiiviys</i>	94
3.34	<i>Savien käyttökelpoisuus</i>	95
3.4	Materiaalin käyttöarvon vertailuperiaatteet	95
3.5	Näkökohtia eräiden materiaalien käytöstä tienrakennustöissä	98
3.51	<i>Kalliomassat</i>	98
3.52	<i>Kelpaamattomat massat</i>	100
3.6	Suunnittelijan mahdollisuuksista vaikuttaa kustannusten muodostumiseen	102
3.7	Suoriteyksiköiden muutoksista	103
3.8	Massansiirtosuunnittelun periaatteet	105
3.81	<i>Lineaarinen ohjelmointi</i>	105
3.82	<i>Massakäyrä massansiirron suunnittelussa</i>	106
4.	TYÖMENETELMÄKYSYMYKSET	109
4.1	Olosuhdetekijät maarakennusprosessin eri vaiheissa	111
4.11	<i>Maan irroitus ja kuormaus</i>	111
4.111	Kaivettavuus	111
4.112	Kaivurinnan korkeus	115
4.113	Kivisyys ja lohkaraisuus	117
4.114	Maapohjan kantavuus	117

4.12	<i>Kallion irrotus ja kuormaus</i>	117
4.121	<i>Kallion porattavuus</i>	118
4.122	<i>Irrotettavuus</i>	122
4.123	<i>Kallion pysyvyys</i>	122
4.124	<i>Murskautuvuus</i>	122
4.2	Maan siirto ja kuljetus	123
4.21	<i>Työprosessin kokonaiskustannukset</i>	123
4.22	<i>Maapohjan laatu</i>	126
4.23	<i>Kuorma-autokuljetukset</i>	127
4.3	Tiivistäminen	130
4.4	Maaperätutkimustuloksien esittäminen suunnitelmissa	131
TEKIJÄT		132

1. MAALAJILUOKITUKSET ROUTIVUUDEN, KANTAVUUDEN JA KAIVUVAIKEUDEN PERUSTEELLA

1.1 Routa ja routivuuden arvostelu

Routa aiheuttaa Suomessa vuosittain varsin paljon taloudellisia vahinkoja vaurioittamalla mm. tierakenteita ja rakennuksia. Tämän vuoksi on rakennustekniikan parissa työskentelevien tärkeätä tuntea pääpiirteissään roudan eri ilmenemismuodot, roudan syntyyn vaikuttavia tekijöitä sekä maalajien routivuuden arvosteluperusteet voidakseen suunnitella ja rakentaa teknillisesti sekä taloudellisesti edullisia rakenteita.

1.11 ROUTA JA ROUTIVUUS

Routa on maassa olevan veden jäätyminen johdosta kovettunut maakerros. Jäätyneen kerroksen paksuutta sanotaan roudan syvyydeksi ja kerroksen alarajaa sanotaan routarajaksi. Roudan syntymistä eli maassa olevan veden jäätymistä sanotaan maan routaantumiseksi. Jos maan routaantumisen tai roudan sulamisen tapahtuessa maan pinta liikkuu tai maan fyysiset ominaisuudet muuttuvat siinä määrin, että aiheutuu vaurioita esim. erilaisille rakenteille, puhutaan maan routimisesta. Kaikki maalajit routaantuvat talvisin, mutta kaikkien ei silti tarvitse routia.

Maalajeissa esiintyy pintaroutaa eli roustetta, onkalaroutaa, massiivista routaa ja kerrosroutaa. Massiivinen routa ja kerrosrouta ovat varsinaista maaroutaa, mutta pintarouta ja onkalarouta ovat pintailmiöitä. Rousteen muodostavat pystyt, jopa yli 10 cm pitkät jääneulaset ja jääsälöt, joiden

yläpäässä oleva muutaman millimetrin paksuinen maakerros vaikeuttaa joskus niiden havaitsemista. Rouste "rouskuu" jalkojen alla ensimmäisillä syyspakkasilla esim. ojan varsilla, pelloilla tai hiekanottoaikoissa. Rousteen jääneulaset kasvavat alapäästään pituutta sitä nopeammin mitä helpommin ne saavat vettä, joka kapillaarisesti nousee maan pintaan. Rousteen alla on maa sula.

Onkalarouta aiheutuu yleensä vain muokatun höllän maan pintakerroksen "onkaloiden" ja kolojen seinämiin jäätyneestä vedestä. Onkalarouta aiheuttaa maassa yleensä vain pieniä tilavuuden muutoksia, eikä sillä ole rakennusteknillistä merkitystä. Onkalaroudassa jää on neulasina kuten rousteessakin, mutta neulaset ovat vain muutaman millimetrin mittaisia.

Massiivinen routa esiintyy pääasiallisesti karkeissa maalajeissa, sorassa ja hiekassa, mutta myös turve jäätyy massiiviseen routaan. Karkearakeisissa maalajeissa esiintyvässä massiivisessa roudassa ei yleensä voida erottaa jäätä paljain silmin, eikä rakeiden väliin jäänyt vesi aiheuta routimista eli rakennusteknillisiä haittoja, sillä vielä sula vesi tunkeutuu helposti sulaan maahan jäätyvän ja tilavuudeltaan suurenevan veden painamana. Maa siis routaantuessaan vain kovettuu.

Kerrosroudalle ovat ominaisia etupäässä vaakasuorat jääkerrokset ja linssit, joiden paksuus meidän oloisamme vaihtelee muutamasta millimet-

ristä jopa 30 cm saakka. Kerrosrou-
dassa puhtaat jääkerrokset vuorotte-
levat joko osittain sulan maan tai
massiivisen roudan kanssa. Kerros-
routaa tavataan pääasiallisesti hieno-
hieta-, hiesu- ja savimaissa sekä hieta-
ja hiesumoreeneissa, joiden vedenlä-
päisevyys on pieni. Se aiheuttaa maan
pinnan kohoamista eli ns. routakohou-
mia (routakyhmyjä). Lämpötilan las-
kiessa veden jäätymisspisteeseen alapuo-
lelle alkaa muodostua jääkiteitä ensin
sinne, missä on vapaata huokosvettä.
Kun vesi jäätyy ja sen tilavuus sa-
malla kasvaa, se ei pääse pakenemaan,
vaan muodostuu imu, joka tuo lisää
vettä jäätyvään paikkaan. Lisäveden
nousua jäätyiskohtaan edistää vielä
se, että vesi virtaa lämpötilagradien-
tin suuntaan lämpimästä kylmään
päin. Jääkiteet alkavat kasvaa, ja ne
muodostavat maahan jäälinsin tai
jääkerroksen, joka tulee paksummaksi
sitä mukaa kun vettä tulee jäätymis-
paikalle. Routaraja pysyy likimain
jäälinsin tasossa. Routarajan laskiessa
alaspäin syntyy jäälinssejä ja jääker-
roksia moneen tasoon, ja se vesimää-
rä, joka niihin varastoituu, on usein
paljon maan normaalia vesimäärää
suurempi. Myös maan pinta nousee
tällöin jäälinsien yhteispaksuuden
verran ylöspäin. Tällöin jääkerrokset
aiheuttavat yleensä maan tai esimer-
kiksi tien pinnan tasaisen nousun,
mutta linssit puolestaan aiheuttavat
pintaan "routakyhmyjä". Maamme
keski- ja pohjoisosissa on routakohou-
mien korkeudeksi mitattu jopa 70
cm. Maan lämpötilan laskiessa rou-
tarajan yläpuolella riittävästi alle ve-
den jäätyislämpötilan myös kiviäi-

nesrakeiden pinnalle tiivistynyt vesi
(adsorptiovesi) jäätyy ja jäälinsien
väliin jää massiivista routaa. Näin ker-
rosroudan syntyminen ja rakenne
määräytyvät maalajin raekoosta, kapil-
laarisuudesta ja vedenläpäisevyydestä,
maan vesipitoisuudesta ja pohjaveden
tai muun vesivaraston sijainnista, rou-
taantumis- eli jäätymisnopeudesta ja
routivan kohdan kuormituksesta.

Mitä pienempi on jonkin maalajin
raekoko, sitä suurempi on sen ka-
pillaarisuus ja sitä syvemällä olevas-
ta pohjavesivarastosta voi vettä imey-
tyä jäätyvään kerrokseen. Mutta maa-
laji läpäisee sitä huonommin vettä
mitä hienojakoisempi se on, ja sitä
hitaammin pääsee vettä jäätyvään koh-
taan eli sitä ohuemmaksi jää jääker-
ros routarajan siirtyessä alaspäin. Tä-
män vuoksi hieno hieta ja hiesu sekä
hieta- ja hiesumoreenit ovat erittäin
routivia maalajeja, ja niissä kerros-
routa pääsee parhaiten muodostumaan.
Savien routaantuessa muodostavat jää-
kerrokset useimmiten savien pienen
läpäisevyyden aiheuttaman veden niuk-
kuuden johdosta ohuita raitoja (ker-
roksia), joiden keskinäinen etäisyys
määräytyy saven rakenteesta ja routa-
rajan laskeutumisnopeudesta. Kerral-
linen savi muuttuu ensi kertaa jää-
tyessään tiheä- ja kapearaitaiseksi, kun
taas usein jäätynyt savi voi routaan-
tua muruisena kuten karkearakeinen
maalaji. Tasalaatuisessa lihavassa sa-
vessa kerrokset ovat yleensä etääm-
pänä toisistaan, ja sen vuoksi ne rou-
tivat vähemmän kuin hiesuisemmat
maalajit.

Maalajin vesipitoisuuden lisääntyes-
sä kasvaa yleensä vapaan huokosve-

den määrä. Runsaasti vettä sisältävissä maalajeissa ovat mahdollisuudet jääkerrosten syntymiseen suuremmat kuin niukkavetisissä maalajeissa. Kosteuden maalaajin jäätyminen ei yleensä aiheuta rakennusteknillisiä vahinkoja siitäkään huolimatta, että vesi jäätyessään laajenee, ellei maalaji jäätyessään saa lisävettä muualta.

Mitä suurempi on maan routaantumisnopeus, sitä vähemmän ja ohuempia jääkerroksia ehtii muodostua, koska routaraja nopeasti laskeutuu tukkii ylempien kerrosten vedensaantimahdollisuudet. Jos routaraja on kauan paikallaan, voi sen kohdalle syntyä paksu jääkerros. Ilman lämpötila ja maan lämmönjohtokyky vaikuttavat routaantumisnopeuteen. Niinpä kivet hyvinä lämmönjohtajina nopeuttavat maan jäätymistä, mutta maan sisältämä vesi hidastuttaa sitä. Kuiva maa jäätyy nopeammin kuin märkä ja suhteistunut kuiva maa nopeammin kuin vastaava lajittunut maa.

Routaantuvalla paikalla oleva kuormitus vaikuttaa maahan tiivistävästi, hidastaa veden pääsyä routarajaan ja aiheuttaa maan lämmönjohtokyvyn kasvamisen. Kuormituksen suureneminen siis suurentaa routaantumisnopeutta ja pienentää routavaurioita, mutta sen vaikutus vaihtelee eri maalajeissa ja on huomattavasti pienempi hienojakoisissa kuin karkearakeisissa routivissa maalajeissa.

Roudan syvyys vaihtelee suuresti vuodesta toiseen mm. talvella vallitsevien lämpötilojen, lumipeitteen paksuuden, maan kosteussuhteiden ja kasvipeitteen mukaan. Suomessa roudan syvyys on suurin kuivissa moree-

nimaissa ja karkearakeisissa kivennäis- maissa. Maalajin rakkoon pienetessä myös roudan syvyys pienenee. Vettä pidättävissä hienojakoisissa kivennäis- maissa roudan syvyys on noin 80 % karkeiden kivennäismaiden roudan syvyydestä. Lumen peittämällä alueilla, pelloilla ja metsissä on roudan syvyys alueesta riippuen enintään 25...50 % vastaavasta lumesta raivatun alueen roudan syvyydestä.

Rakennustekniikan kannalta on tärkeintä tuntea roudan syvyys lumesta raivatuilla alueilla, joiden pintaa eivät eloperäiset lämpöä eristävät maalajit peitä. Roudan syvyys voidaan mitata tai laskea. Sen määrittämiseksi käytetään yleensä roudan syvyysmittareita, esimerkiksi maahan upotetun muovisen suojaputken sisällä liikkuvaa, asteikolla varustettua ja metyleenisinillä värjättyllä vedellä täytettyä putkea, jossa sininen väri katoaa veden jäätyessä ja ilmoittaa, miten syväälle maa on jäässä. Kuvassa 1 on kartta, josta ilmenee tie- ja vesirakennushallituksen roudan syvyyden mittausturvasto.

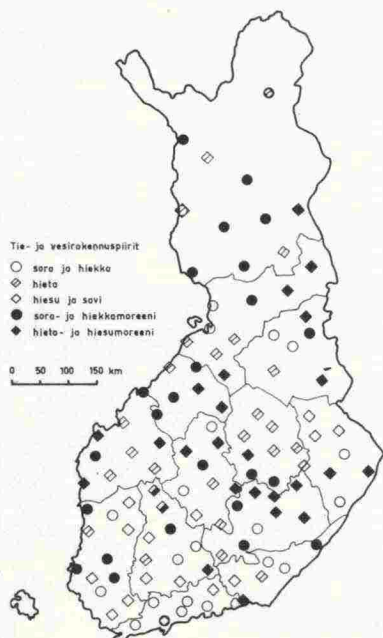
Roudan syvyys voidaan likimäärin laskea tietyn paikkakunnan pakkasmäärän (pakkassumman) avulla, kun otetaan huomioon maan vesipitoisuus, jäätyneen maan lämmönjohtokyky ja pakkasen vaikutusaika. Lasketun syvyyden luotettavuus on kuitenkin varsin kyseenalainen etenkin silloin, kun maaperä tai täytemaa koostuu erilaisista maalajikerroksista, sillä monet laskemiseen tarvittavat lukuarvot vaihtelevat ja ovat vaikeasti määritettäviä. Roudan syvyys on kuitenkin likimäärin verrannollinen pakkasmäärän

neliöjuureen kaavan (1) mukaisesti, jos maalaji ja maaperä ovat muuttumattomat.

$$(1) d = c \sqrt{F}$$

d roudansyvyys (cm)
 c maalajikerroin
 F pakkasmäärä tuntiasteina ($h^{\circ}C$)

Kuvassa 2 on pakkasmääräkartta, josta ilmenee eri alueiden suurimmat havaitut pakkasmäärät tuntiasteina ja



Kuva 1:
 Tv:n roudansyvyyden mittausverkosto.

kuvasta 3 eri alueiden keskimääräiset pakkasmäärät.

Taulukossa 1 on esitetty roudan suurimmat syvyydet eri maalajeissa ja pakkasmäärissä. Nämä syvyydet perustuvat tie- ja vesirakennushallituksen vuosien 1958...1964 aikana tekemiin havaintoihin ja niistä suoritettuihin tilastollisiin laskelmiin. Pakkasmääräkartoista (kuvat 2 ja 3) voi paikkakunnittain arvioida todennäköisen keskimääräisen tai maksimipak-



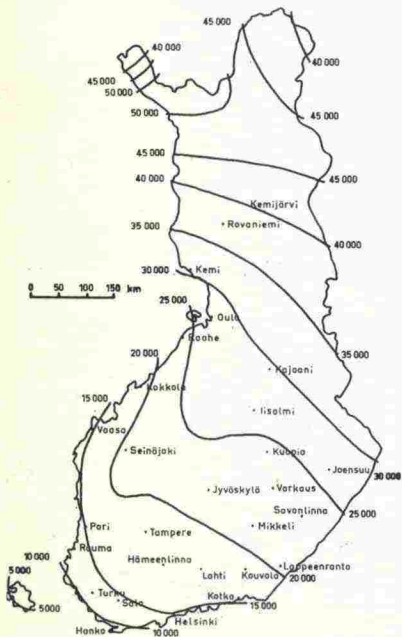
Kuva 2:
 Maksimipakkasmäärät tuntiasteina Suomen eri osissa (Etelä-Suomen osalta L. Keinosen mukaan, talvi 1941—42 ja Pohjois-Suomen osalta R. Oraman mukaan, talvi 1965—66.).

kasmäärän ja taulukosta maalajin todennäköisen ko. pakkasmäärää vastaavan roudan syvyyden.

Pohjarakennuksen normien (1964) mukainen roudaton syvyys normaaleissa olosuhteissa on esitetty kuvassa 4. Näitä arvoja ei pidä kuitenkaan käyttää kuin niissä erikoistapauksissa, jotka on mainittu osassa IV, kohta 3.56.

Roudan sulaminen alkaa sekä routarajalla että maan pinnalla. Alhaalla sulaminen on kuitenkin paljon hi-

taampaa kuin maan pintaosassa eikä sillä sen vuoksi ole sanottavaa käytännöllistä merkitystä. Sulamisen tapahtuessa n. 90 prosenttisesti maan pintaosassa ei vapautuva vesi pääse alla olevan sulamattoman roudan vaikutuksesta painumaan maahan, vaan se kyllästää maan pintaosan ja tekee sen huonosti kantavaksi. Tämä ilmenee varsinkin vanhoissa savella kunnossapidetyissä sorateissa ns. pintapehmenemisenä. Sulamisen jatkuessa maan pintaosa kuivuu nopeasti keväällä,



Kuva 3:
Keskimääräiset pakkasmäärät tuntia-asteina Suomen eri osissa.



Kuva 4:
Pohjarakennuksen normien (1964) mukaiset perustamissyvyydet (cm) routivalla maalla normaaleissa olosuhteissa Suomen eri osissa.

mutta pinnan ja sulamattoman pohjaroudan väliin jää paljon vettä, joka aiheuttaa esim. vanhoilla maanteillä routapuhkeamia.

Roudan sulamisaika on lumesta raivatuilla alueilla Etelä-Suomessa keskimäärin n. 6 viikkoa. Keski-Suomessa vastaava roudansulamisaika on keskimäärin n. 7 viikkoa ja Pohjois-Suomessa n. 8 viikkoa.

Syksyllä ennen maan jäätymistä on pohjaveden pinta yleensä korkealla ja alenee nopeasti maan jäätyessä, mutta nousee jyrkästi vasta roudan sulamisen jälkeen, jolloin vajovedet pääse-

vät esteettä pohjavesivarastoihin. Pohjaveden pinnan aseman tunteminen on tärkeätä arvioitaessa mahdollisia tulevia routavaurioita ja niiden estämistä.

1.12 ROUTIVUUDEN ARVOSTELU

Maalajien routivuus voidaan määrittää laboratoriossa erilaisten, toisiaan tukevien kokeiden avulla. Näistä ovat tärkeimmät rakeisuusanalyysi ja veden kapillaarisen nousukorkeuden mittauss. Lisäksi voidaan tehdä jäädyttämiskoe vakio-olosuhteissa. Tie- ja vesirakennuslaitoksessa suoritetaan routivuuden

Taulukko 1. Roudan maksimisyvytydet eri maalajeissa ja pakkasmäärissä lumesta raivatulla alueella.

Pakkasmäärä (h°C)	Roudan syvyys (m)				
	Sr ja Hk	Sr- ja HkMr	Ht- ja HsMr	Ht	Sa
70 000	3.05	3.00	2.60	2.45	2.40
65 000	2.95	2.90	2.50	2.35	2.30
60 000	2.85	2.80	2.40	2.25	2.20
55 000	2.75	2.70	2.30	2.15	2.10
50 000	2.60	2.60	2.20	2.05	2.00
45 000	2.45	2.45	2.10	1.95	1.90
40 000	2.30	2.30	2.00	1.85	1.80
35 000	2.15	2.15	1.85	1.70	1.70
30 000	2.00	2.00	1.70	1.60	1.60
25 000	1.85	1.80	1.55	1.45	1.40
20 000	1.65	1.60	1.40	1.30	1.25
15 000	1.40	1.40	1.20	1.15	1.10
10 000	1.15	1.15	1.00	0.90	0.90
5 000	0.80	0.80	0.70	0.65	0.65

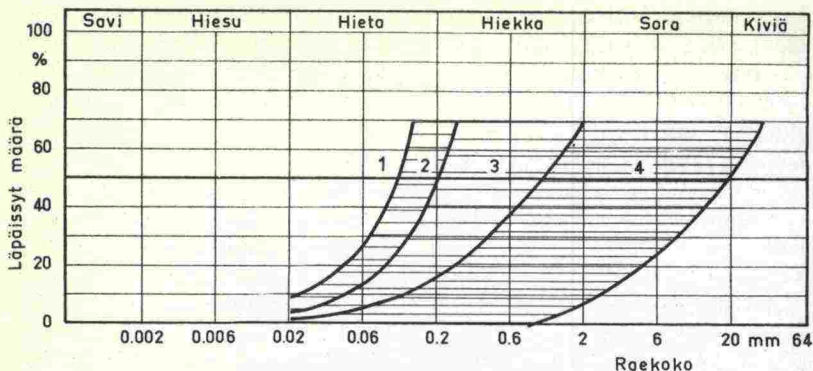
Roudan syvytydet on laskettu kaavasta $d = c \sqrt{F}$, jossa

d roudan syvyys (cm)

c materiaalikerroin (Sr ja Hk $c = 1.159$, Sr- ja HkMr $c = 1.146$, Ht- ja HsMr $c = 0.986$, Ht $c = 0.921$ ja Sa $c = 0.900$).

Arvot on saatu julkaisusta "Havaintoja lumesta raivatun maan routaantumista ja sulamisesta Suomessa v. 1958...1964" s. 24...26.

F pakkasmäärä tuntiasteina (h°C)



Kuva 5:

Maalajien routivuuden arvostelu.

Kaikki maalajit, joiden rakeisuuskäyrät ovat alueella 1, ovat routivia.

Ne maalajit, joiden rakeisuuskäyrät sijaitsevat alueella 2, 3 tai 4, ovat routimattomia edellyttäen, että käyrien alapäät eivät pääty kyseisen alueen vasemmanpuoleisen rajakäyrän yläpuolelle.

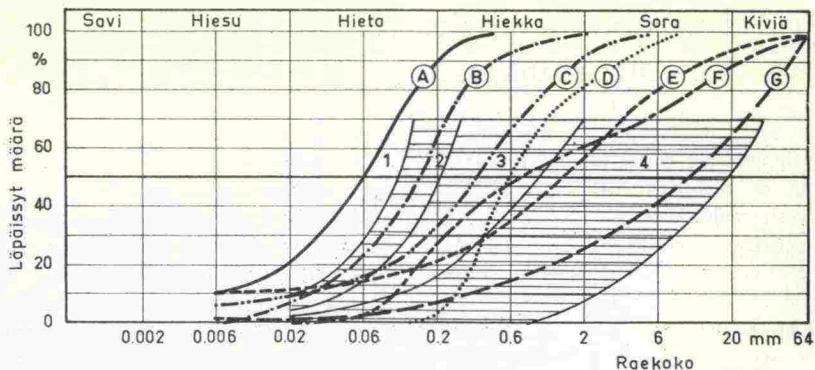
Maalajien routivuutta voidaan myös arvostella kapillaarisuuden perusteella sen ollessa routimattomilla maalajeilla pienempi kuin 100 cm.

arvostelu pääasiassa kahden ensin mainitun kokeen perusteella.

Maalajit jaetaan tie- ja vesirakennuslaitoksen omaksuman käytännön mukaan routivuuden perusteella vain kahteen ryhmään eli routimattomiin ja routiviin. Routimattomia maalajeja ovat esim. sora ja hiekka, routivia hiesu, savi ja pääosa moreeneista.

Routivuuden arvostelu suoritetaan ensisijaisesti maalajin rakeisuusanalyysiin perustuvan rakeisuuskäyrän avulla. Routivuuteen vaikuttavat tällöin kiviaineksen hienojen rakeiden määrä, maalajin lajittuneisuus ja sen keskimääräinen raekoko. Maalajin raekokosuhteen (d_{50}/d_{10} = maalajin em. läpäisyprosentteja vastaavien raekokojen suhde) ylittäessä 15 ja keskimääräisen raekoon (d_{50}) ollessa yli 1 mm

(kuva 5, alue 4) saa alle 0.02 mm rakeita olla enintään 3% ja alle 0.074 mm rakeita enintään 8%, jotta maalaji olisi routimatonta. Raekokosuhteen ollessa alle 15 vaikuttaa rakeisuus ratkaisevasti maalajin routivuuteen siten, että keskimääräisen raekoon (d_{50}) ollessa välillä noin 0.2... 1 mm (alue 3) saa alle 0.02 mm rakeita olla enintään 5% ja alle 0.074 mm rakeita enintään 18%. Keskimääräisen raekoon ollessa noin 0.1... 0.2 mm (alue 2) saa alle 0.02 mm rakeita olla enintään 10% ja alle 0.074 mm rakeita enintään 35%. Alueen 2 aines on lähinnä karkeata hietaa, alueen 3 hienoa hiekkaa ja alueen 4 kiviaines karkeata hiekkaa ja sora.



Kuva 6:
Esimerkkejä maalajien routivuuden arvostelusta.

Rakeisuuden perusteella tapahtuvaa maalajien routivuuden arvostelua varten on laadittu raekoon suhteen, keskimääräisen raekoon ja sallitun hienoainemäärän perusteella ohjealueet (kuva 5), joihin tutkittavana olevaa rakeisuuskäyrää vertaamalla voidaan helpottaa routivuuden arvostelua. Käytännössä vertailu tapahtuu siten, että kuultopaperille painettu ohjealue-lomake (tvh 2.545) asetetaan tarkalleen vastaavan kokaisen käyräpohjan (esim. tvh 2.552) päälle. Alla olevalle rakeisuuslomakkeelle piirretyn käyrän asema ohjealueisiin verrattuna ilmaisee mahdollisen routivuuden. Tällöin, mikäli rakeisuuskäyrä on alueella 1 (ks. kuva 6, esimerkkikäyrä A), on maalaji aina routivaa. Käyrän sijaitessa alueella 2, 3 tai 4 on maalaji routimatonta (esimerkkikäyrät B ja G). Ne maalajit, joiden rakeisuuskäyrän alapää (hienopää) ylittää pysyvästi em. alueiden 2, 3 tai 4 vasemman puoleisen (hienorakeisemman)

rajakäyrän (esimerkkikäyrät C ja E), ovat routivia. Rakeisuuskäyrän risteillessä alueilla siten, että käyrän keskiosa tai yläosa on osittain hienompirakeisen alueen puolella (esimerkkikäyrät D ja F) ja käyrän hienempi pää päättyy karkeampirakeiselle alueelle, on maalaji routimatonta. Rajatapaukset ovat mahdollisia, jolloin rakeisuuskäyrän perusteella tehdyn routivuusarvostelun tueksi on tehtävä maalajin kapillaarisuuden määrittäminen. Routimattomilla maalajeilla on kapillaarisuus alle 100 cm.

1.2 Pohjanmaan ja tien alusrakenteen kantavuusluokitus

Tien päällysrakenteen paksuus on riippuvainen paitsi liikenteen määräästä ja laadusta myös varsin määräävästi alusrakenteen (pohjamaan tai penkereen) materiaalin laadusta. Tien päällysrakenteen mitoittamista varten on maalajit ja kallio ryhmitelty niiden kantavuuden ja routivuuden perusteella. Tätä ryhmittelyä nimitetään **k a n t a v u u s l u o k i t u k s e k s i**.

Maalajien kantavuuteen vaikuttavat mm. niiden rakeisuus, vesipitoisuus, routivuus ja tiiviyssaste sekä pohjaveden pinnan asema. Maalajien kantavuuden määrittäminen on tehty tämän luokittelun yhteydessä lähinnä amerikkalaisen CBR-kokeen (California Bearing Ratio) avulla. CBR-koe on kehitetty alunperin routimattomien maalajien kantavuuden määrittelyyn, mutta menetelmä soveltuu hyvin myös routivien maalajien kantavuuden tutkimiseen. Tällöin on tutkittava maalaji ensin jäädytettävä määrätyn (päällysrakenne-) kuormituksen alaisena siten, että vettä pääsee imeytymään jäätyneen aikana näytteeseen. Ennen CBR-koetta näyte sulatetaan. Kokeella pyritään tällöin jäljittelemään kelirikön aikaista tilannetta. Maalajien CBR-kantavuudella ja levykuormituskokeen avulla määriteltävällä E_2 -arvolla on kaavan (2) mukainen likimääräinen yhteys.

$$(2) \quad E_2 \approx 40 \text{ CBR}$$

Erikoistapauksissa tapahtuvassa yksityskohtaisessa maalajien kantavuuden

määrittelyssä voidaan käyttää esim. CBR-koetta tai kenttäolosuhteissa esim. levykuormituskoea.

Koheesiomaalajien kantavuuden määrittelyssä on lisäksi käytetty muita vertailevia tutkimusmenetelmiä.

Kallion kantavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä ns. syvälouhinnan yhteydessä alusrakenteeksi jäävän louheen kantavuutta. Tällöin tiivistetään louheen pintaosa suodatinperiaatteen mukaisesti pienillä louhoskivillä ja sepeleillä, murskeella, murskesoralla tai soralla. Kallion kantavuuteen vaikuttavat siis sekä louheen koko että pinnan tiivistämiseen käytettävän kiviaineksen laatu.

Kantavuusluokituksessa on maalajit ja kallo jaettu kuuteen ryhmään. Kantavuusryhmät on merkitty kirjaimilla A...F. Näistä ryhmiin A...D kuuluvat kallio ja routimattomat maalajit. Routivat maalajit kuuluvat kuivatusolosuhteista riippuen joko luokkaan E tai F. Luokka F on varsinaisesti ns. pehmeikköluokka. Maalajeja sijoitettaessa tähän viimeainittuun luokkaan joudutaan arvioimaan myös kenttäolosuhteet. Tällöin, mikäli kuivatusolosuhteet ovat huonot ja on pelättävissä liiallista maapohjan pehmenemistä rakennustyön aikana tai myöhemmin epätasaista routimista, on tarvittaessa käytettävä E-luokan sijasta F-luokan päällysrakennetta. Pehmeikkömaalajien kohdalla tarkoitetaan ensi sijaisesti sitä, että päällysrakenne rakennetaan suoraan ko. pohjamaan va-

raan. Mikäli pehmeikkö rakennetaan osittaista tai täydellistä massanvaihtomenetelmää käyttäen, määräytyy päällysrakenne täytemaan ja kuivatusolosuhteiden mukaan. Maalajien ryhmittely tyyppimaalajeineen on esitetty taulukossa 2.

Maalajien kantavuuden arvostelu ja luokittelu voidaan suorittaa luokissa B...D yleensä pelkästään rakeisuuden perusteella. Sijoitettaessa maalajeja luokkiin E ja F on tarkasteltava myös tulevia kenttäolosuhteita.

Rakeisuuden perusteella tapahtuvan kantavuuden arvostelun helpottamiseksi on laadittu ohjealueet (kuva 7) kantavuuden luokittelua varten (kuultopaperina tvh 2.546). Tällöin vertailaan ko. maalajin rakeisuuskäyrää tämän ohjelomakkeen alueisiin sekä

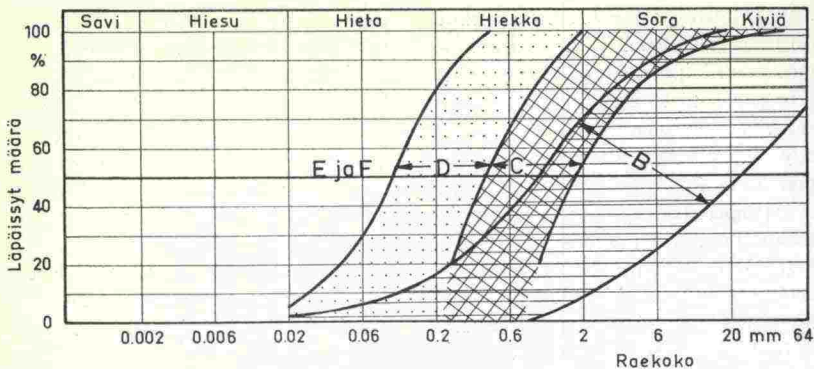
todetaan maalajin mahdollinen routivuus, ks. kohta 1.12. Maalajin kantavuusluokka määräytyy rajatapauksissa, jolloin rakeisuuskäyrä risteilee kahdella tai useammalla alueella, heikomman luokan mukaisesti. Routimattomien moreenien rakeisuuskäyrät ovat alueella B ja routivien taas karkeammasta päästään alueella B, mutta käyrän hieno pää leikkaa yleensä alueen C ja D eli maalajeissa on varsin runsaasti hienoja aineksia (hietaa, hiesua, savea).

Tienormeissa (Normaalimääräykset ja ohjeet, 1964) on esitetty, milloin pohjamaa tai pengermateriaali määrää tulevan kantavuusluokan. Tästä on maininta ko. ohjeiden kussakin päällysrakennetaulukossa, ja määritelmät ovat seuraavat:

Taulukko 2. Maalajien ryhmittely kantavuusluokkiin.

Kantavuusluokka	Maapohjan laatu	Maalajin CBR (%) ≥
A	Kallio (myös louhe)	30
B	Routimattomat maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on jakavan kerroksen ohjealueella tai jotka ovat sitä karkeampia. Esim. sora.	30
C	Routimattomat maalajit, jotka ovat hiekkaa tai sitä karkeampia ja jotka eivät kuulu edelliseen luokkaan.	12
D	Routimattomat maalajit, jotka ovat hietaa tai sitä karkeampia ja jotka eivät kuulu edellisiin luokkiin.	5
E	Routivat maalajit, paitsi F-luokassa mainitut. Kuiva-kuorisavi, routiva hietä ja routivat moreenit. ²⁾	2
F	Pehmeikkö Suopasavi, turve, lieju sekä hiesu.	1

²⁾ Mikäli kuivatusolosuhteet ovat huonot, on kantavuusluokka E = F.



Kuva 7:

Maalajien kantavuusluokitus

A. Kallio.

B. Routimattomat maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on ohjealueella B tai ovat sitä karkeampia.

C. Routimattomat maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on ohjealueella C.

D. Routimattomat maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on ohjealueella D.

E. Routivat maalajit, paitsi F-luokassa mainitut, kuten kuivakuorisavi, routiva hieta ja routivat moreenit.

F. Ns. pehmeikkömaalajit kuten suopasavi, turve, lieju ja hiesu sekä E-luokan maalajit, jos kuivatusolosuhteet tms. ovat huonot.

1) "Kun routimattomalla luonnon maapohjalla käytetään tätä heikommin kantavaa routimatonta tai routivaa pengertäytettä, niin päällysrakennepaksuus määräytyy täytemaan mukaisesti".

2) "Kun routivalla luonnon maapohjalla käytetään routimatonta pengertäytettä, niin päällysrakennepaksuus määräytyy täytemaan mukaisesti vain siinä tapauksessa, että pengerkorkeus on suurempi kuin ao. maapohjalle leikkauksessa vaadittu päällysrakennepaksuus".

Lisäksi on savikoilla otettava huomioon normien ohje: "Jos savikolla on kuivakuori (painokairatangot painuvat 100 kg kuormitettuina tai kiertämällä tai leikkauslujuus on yli

1.8 ton/m²), jonka paksuus on alle 1 m, on päällysrakenne tehtävä F-luokan vaatimusten mukaisesti".

Pehmeikköillä maapohja määrää päällysrakenteen paksuuden vain ns. 0-työssä. Mikäli kysymyksessä on osittainen tai täydellinen massanvaihto kaivamalla tai pengertämällä, päällysrakenteen paksuus määräytyy yleensä täytemateriaalin mukaan, mikäli täytemateriaalin ja päällysrakenteen yhteispaksuus on suurempi kuin pohjamaan vaatima päällysrakennepaksuus.

Kenttätutkimuksen kannalta on varsin tärkeää suunnitella alustava tasaus mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, sillä pohjamaan tutkimuksia ei päällysrakenteen kantavuusluokitusta var-

ten tarvitse suorittaa korkeiden penkereiden osuuksilla, joissa pengermateriaali määrää päällysrakenteen. Erityisen huomion ns. kovan maan tutkimuksessa, luonnollisten tutkimuskohteiden (matalien penkereiden osuudet ja leikkauskohdat) lisäksi, vaativat osakseen leikkausten ja penkereiden yhtymäkohdat mahdollista siirtymäkiilan tarvetta selvitetessä. Myös pohjaveden syvyys on pyrittävä selvittä-

1.3 Kaivuluokitus

1.31. KAIVULUOKITUKSEN KÄYTTÖ JA KÄSITTEET

Maarakennusallalla parin viime vuosikymmenen aikana tapahtunut nopea kehitys konekannan lisääntymisen ja kehittymisen muodossa on täysin muuttanut myöskin kaivutyön luonteen. Vanhasta lapiokaivulinjasta on miltei kokonaan luovuttu ja kaivutyön suunnitelmallinen ja ohjelmanmukainen suorittaminen on saavuttanut lähes teollisen luonteen. Samanaikaisesti on myös maarakennustöiden suoritustavassa tapahtunut huomattava muutos niiden siirtyessä yhä enenevässä määrin urakalla suoritettaviksi. Maa- ja vesirakennusalan investoinnit ovat kohonneet summiin, joiden kansantaloudellinen merkitys on huomattava. Suurten konekantojen aiheuttamat suuret pääomakustannukset puolestaan vaativat yhä perusteellisempaa ennakkosuunnittelua ja ohjelmointia, jotta työajat voidaan pitää kohtuullisen lyhyinä. Kaikki nämä tekijät yhdessä vaativat, että suunnitelma sii-

mään, sillä se helpottaa päällysrakenteen paksuuden arviointia. Kantavuusluokitus edellyttää myös hyvin tehtyä massansiirtosuunnitelmaa sekä leikkausmateriaalin ja varamaanottopaikkojen huolellista tutkimista.

Oikein suoritettu kantavuusluokitus ja päällysrakenteen valinta sekä siihen liittyvät siirtymäkiilat takaavat yleensä hyvän ja suhteellisen tasaisen tienpinnan.

hen liittyvine asiakirjoinne, joita ovat esim. työselitys, tutkimustulokset, urakkaohjelma sekä massa- ja yksikköhintaluettelo, ovat mahdollisimman tarkat ja paikkansapitävät. Niiden perusteella pitää urakoitsijan tai rakentajan pystyjä suunnittelemaan työn suoritustapa konekannan valintaa ja työaikataulua myöten, puhumattakaan kustannusarvion tai tarjouksen laatimisesta.

Sekä rakennus- että työsuunnitelman pohjana tulee olla hyvin ja asianmukaisesti suoritettu maaperätutkimus, joka ilmoittaa sekä rakennus- että työsuunnitelman laatijalle tarpeelliset tiedot rakenteen ja työtavan valintaa varten. Hyvin suunniteltu pohjatutkimus, joka suoritetaan riittävän monipuolisin välinein ja jota sopivasti täydennetään laboratoriossa tapahtuvilla määrityksillä, sisältää tavallisesti miltei sellaisenaan kaikki tarvittavat tiedot maalajien kaivuominaisuuksien selvittämiseksi. Kaivuominaisuuksien selvittämiseksi tarvittavan tutkimuksen ohjelmaa ei voi eikä saa-

kaan esittää kaavamaisesti etukäteen, vaan se on laadittava alustavan tutkimuksen perusteella, sen jälkeen kun maaperää koskevat perustiedot ja suunnitelman yleispiirteet ovat tulleet selvitettyiksi. Tällöin on mahdollista kohdistaa tutkimus maaperän oleellisten ominaisuuksien selvittämiseen.

Seuraavassa esityksessä tarkastellaan maalajien kaivuominaisuuksia siinä ympäristössä ja olosuhteissa, joissa ne työn aikana voivat esiintyä. Tarkastelu rajoittuu vain maalajien fysikaalisiin ominaisuuksiin ja jättää huomiotta sellaiset tekijät kuin konetyypin, työmaaosuhteet, työmaan järjestykseen liittyvät tekijät, työn suorittajien ammattitaidon ja ottaa huomioon säätilan ja vuodenaikojen sekä pohjavesiolosuhteiden vaikutuksen vain sen laajuusina kuin niiden voidaan suoranaisesti katsoa vaikuttavan maalajin geoteknilliseen käyttäytymiseen.

Maalajien kaivuominaisuuksiin katsotaan kuuluvan kaikkien niiden maalajiominaisuuksien, jotka suoranaisesti vaikuttavat maa-aineksen kaivettavuuteen, maansiirtoihin ja läjityksen suorittamiseen. Nämä ominaisuudet ryhmitetään seuraavassa kahteen pääryhmään:

1) Maa-aineksen vesipitoisuuden vaikutus sekä maassa olevan kosteuden että sateen ja pohjaveden muodossa.

2) Maa-aineksen irroitettavuus ja siihen vaikuttavat ominaisuudet.

Molempia ryhmiä sekä muita tapauskohtaisia tekijöitä käsitellään jäljempänä tarkemmin. Koska vesipitoisuuden vaikutus on suuresti riippuvainen maalajin muista ominaisuuksista ja

olosuhteista, on sitä voitu käsitellä eri maalajien kohdalla vain viitteellisesti pyrkien osoittamaan tutkimuksessa eri tapauksissa selvittettävät seikat.

1.32 MAALAJIEN KAIVU- OMINAISUUDET

1.321 MAALAJIEN VESIPITOISUUDEN, SATEIDEN JA POHJAVEDEN VAIKUTUS KAIVU- OMINAISUUKSIIN

Vuodenaajat, vesipitoisuus, sateet ja pohjavesi vaikuttavat eri tavoin eri maalajien kaivuominaisuuksiin. Niiden vaikutus on yleensä kaikkein suurin erittäin routivissa ns. juoksumaalajeissa, kuten hiesussa ja hienohiedassa. Nämä maalajit imevät jäätyessänsä itseensä kosteutta ja routakerros on tavallisesti jäälinsejä sisältävää kovaa kerrosroutaa. Roudan sulamisvaiheessa vapautuva ylijäämävesi aiheuttaa pintapehmenystä ja maalaji saattaa muuttua erittäin juoksevaksi. Tämän saman saattavat aiheuttaa myös sateet ja pohjavesi. Runsaasti hiesua ja hienohieta sisältävät moreenit ja muut maalajit saavat vedellä kyllästyessään myös juoksumaalajien ominaisuuksia.

Kaivettavuuteen ja kaivutyön vaikeuteen vaikuttavat ominaisuudet muuttuvat häiriintymättömissä savi-maalajeissa vähemmän kuin edellä kuvatuilla maalajeilla sateen ja pohjaveden vaikutuksesta. Tämä johtuu pääasiassa kahdesta seikasta. Ensimmäinen on näiden maalajien erilainen vedenläpäisevyys. Hiesu ja hienohieta

ovat keskinkertaisen vettäläpäiseviä maalajeja, etenkin esiintyessään muodostumisissa, joissa on myös karkearakeisempia maalajikerroksia. Ulkoa päin tuleva vesi pääsee paremmin tunkeutumaan niihin kuin käytännöllisesti katsoen vettäläpäisemmään saveen. Toiseksi savimaalajit omaavat koheesiota, joka ei ole kapillaarivoimien aiheuttamaa näennäistä koheesiota, vaan todellista koheesiota, joka säilyy myös veden alla ja vedellä kylästetyssä tilassa. Maanpinnassa esiintyvä hiesuinen tai hietainen laiha savi muuttuu sateen vaikutuksesta herkemmin kuin syvemmällä oleva lihava savi. Hiushalkeamia sisältävä ylikonsolidoitunut homogeeninen savi muuttuu suhteellisesti enemmän kuin normaalkonsolidoitunut homogeeninen savi, sillä sadevesi pääsee halkeamien kautta helpommin tunkeutumaan saven sisään.

Kaivu- ja maansiirtotöiden yhteydessä saattaa savi joutua toisenlaiseen tilaan, jossa sen rakenne häiriintyy sekä kaivulaitteiden, kaivukoneen kauhahan sekä päällä liikkuvan liikenteen vaikutuksesta. Häiriintyneen kerroksen syvyys riippuu liikenteen raskaudesta, sen aiheuttamasta värinästä ja kaivutavasta. Siirrettäessä savea esim. puskutraktorilla on häiriintyminen monin verroin voimakkaampaa kuin pistokauhakaivussa, jossa häiriintyminen ulottuu vain kauhahan leikkaamiin pintakerroksiin. Saven päällä tapahtuva maansiirtoliikenne saattaa, mikäli ajoteitä ei asianmukaisesti vahvisteta, häiritä saven rakennetta melko syvällekin. Halkeamia sisältävässä saveassa saattaa häiriintyminen saveen

tunkeutuvan lisäveden vaikutuksesta ulottua melko syväälle.

Tarkasteltaessa kaivutyön häiritsemän saven ominaisuuksia ja käyttäytymistä on tutkittava vaivattun eli täysin häirityn saven ominaisuuksia. Vaivattun saven leikkauslujuus on riippuvainen sen vesipitoisuudesta. Saven vesipitoisuuden ollessa alhainen sen leikkauslujuus on suurempi kuin samalla savella, jonka vesipitoisuus on korkeampi. Koska eri savimaalajien absoluuttiset leikkauslujuusarvot riippuvat niiden mineralogisesta ja rae-koostumuksesta, kuvataan niiden suhteellisia vaivattuja lujuuksia tavallisesti konsistenssirajojen (ns. Atterbergin rajojen) avulla. Tärkein näistä rajoista tässä yhteydessä on juoksuraja (w_L), tai pohjoismaissa yleisesti käytetty hienousluku (F) (ks. osat 1 ja 2), jotka lukuarvoltaan ovat yleensä suunnilleen samansuuruisia. Mikäli saven vesipitoisuus on em. arvoa korkeampi, on savi juoksevassa tilassa, ja mikäli se on tätä alhaisempi, saven sanotaan olevan plastisessa tilassa.

Mikäli luonnossa esiintyvän saven vesipitoisuus (w) on suurempi kuin sen juoksuraja (w_L) tai hienousluku (F), on syytä olettaa, että tämä maalaji vaivatussa, häirityssä tilassa menettää täysin leikkauslujuutensa ja joutuu juoksevaan tilaan. Tämän vuoksi on saven vesipitoisuuden ja sen juoksurajan keskinäisillä suhteilla ensiarvoisen tärkeä asema suunniteltaessa ja suoritettaessa maansiirto- ja kaivutöitä savimaalajeista koostuvassa maaperässä. Saven pehmenemisestä aiheutuvat vaikeudet ilmenevät sekä liiken-

teen vaikeuksina että vaikeuksina läjityspaikoilla, jolloin lujutensa menettänyt maalaji ei pysy luiskassa, ja siten heikentää myös häiriintymättömiä maamassoja.

Edellä kuvatun kaltaista, lisääntyneen vesipitoisuuden aiheuttamaa lujouden menetystä on voitu havaita myös moreenimaalajeissa, joiden hienoainespitoisuus on suuri ja jotka kaivun yhteydessä joutuvat häiriityksi. Moreenin hienoaineksien konsistenssirajojen tunteminen on tarpeen sellaisissa tapauksissa, joissa moreenin hienoainespitoisuus on niin suuri, että karkeampien rakeiden muodostama raerunko ei riitä antamaan sille riittävä lujutta.

1.322 IRRITETTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Irrottavuuteen vaikuttavista tekijöistä tärkein on maalajin leikkauslujuus ja siihen liittyvinä myös maalajin rakkoostumus ja tiiviys. Maalajin leikkauslujuus ilmenee kaivukoneen kauhan tunkeutumisvastuksena kaivutyön yhteydessä. Rakeiden muodolla ja maalajin iskostuneisuudella on myöskin hyvin huomattava leikkauslujuutta ja kaivuvaikeutta lisäävä vaikutus. Omalla tavallaan vaikuttavat lisäksi maaperän kivisyys ja lohkareisuus. Yleisesti voidaan todeta, että löyhät maalajit kuuluvat helpompaan kaivuluokkaan kuin tiiviit, samaten kevyet maalajit ovat helpompia irroitaa kuin raskaat. Kaivuvaikeuteen vaikuttaa maalajin rakkoostumus siten, että lajittuneet maalajit ovat

helpompia kaivettaviksi kuin vastaavat suhteistuneet maalajit, kuten esim. moreenit. Kivisyys ja lohkareisuus tekevät maan vaikeasti irrotettavaksi ja asettavat omat vaatimuksensa mm. kaivukoneen kauhakoolle.

Koska maalajin irrottavuus on voitava määrittää jo pohjatutkimuksen perusteella, voidaan todeta, että maaperän geologisen rakenteen tunteminen on erittäin tärkeätä maalajeja luokiteltaessa.

1.323 MUUT KAIVUOMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Maaperän kaivuominaisuuksia tutkittaessa on erittäin tärkeää suorittaa havaintoja pohjaveden sijainnista tutkittavalla alueella. Korkealla oleva pohjaveden pinta saattaa aiheuttaa huomattavia muutoksia työtavoissa ja menetelmissä. Maanottopaikkojen kohdalla korkea pohjaveden pinta saattaa tehdä ottopaikan käyttökelvottomaksi. Mikäli pohjaveden pinta on korkealla, on kiinnitettävä erityistä huomiota sen alentamismahdollisuuksiin jo tutkimusvaiheessa. Tällöin on erittäin tärkeätä selvittää hyvin vettäläpäisevien maakerrosten mahdollinen esiintyminen maaperässä.

Niissä tapauksissa, joissa kaivutöitä joudutaan suorittamaan savi- tai hiesumaissa, jotka ovat häiriintymisherkkiä eli sensitiivisiä, voidaan kohdassa 1.321 kuvattuihin olosuhteisiin joutua jopa silloinkin, kun maalajin vesipitoisuus ei muutu työn aikana.

1.33 MAALAJIEN KAIVULUOKITUS IRROTETTAVUUDEN PERUSTEELLA

1.331 KAIVULUOKITUS

Seuraavassa esitettävä IVO-luokitus on laadittu Imatran Voima Osakeyhtiössä pääasiassa voimalaitostyömaiden kaivutöiden antamien kokemusten perusteella. Maalajit on siinä irrotettavuuden perusteella jaettu viiteen kaivuluokkaan, K:1 . . . K:5. Taulukko 3

esittää yksityiskohtaisesti luokitusperusteet maalajin rakenteen, rakennusteknillisen maalajiluokan ja luonteenomaisten piirteiden perusteella. Lajittuneet ja tavallisesti myös rakeiltaan pyöristyneet maalajit on sijoitettu kahteen ensimmäiseen luokkaan. Kiinteät ja kiviset lajittuneet maalajit sekä löyhät moreenit muodostavat kolmannen luokan. Neljänteen ja viidennen luokkaan kuuluvat tavallisimmat pohjamoreenit, kivikot ja louhikot sekä rapakallio.

Taulukko 3. Maan kaivuluokitus.

Luokka	Rakenne	Maalaji	Luonteenomaiset piirteet
K : 1	Löyhä ja hienorakeinen	Roudan löyhentämä pintamaa Hiekkainen sora, hiekka, hieta, hiesu, märkä ja pehmeä savi, lieju, muta, turve	Lajittuneisuus ja suuri hienoainespitoisuus. Pieni tiiviys ja lujuus. Lapiolla luotavaa.
K : 2	Irrallinen ja karkearakeinen	Lajittuneet kiviset maalajit, liekoinen, puunjätteitä sisältävä turve	Jossain määrin esiintyvä suhteistuneisuus. Pieni hienoainespitoisuus.
K : 3	Kiinteä tai kivinen	Kiinteät ja kiviset maalajit, hiesu-, hieta-, hiekkamoreeni, kivinen ja lohkareinen sora. Saven kuivakuorikerros	Saven konsistenssi kova. Moreeni löyhää jonkin lajitteen runsaudesta johtuen. Kivinen suhteistunut sora.
K : 4	Tiivis, tiukkaan pakkautunut tai lohkareinen	Pohjamoreeni, kivikko, louhikko ja pulterikko	Moreeni hyvin suhteistunutta (rakeisuuskäyrä puolilogaritmisella kaavakkeella melkein suora) ja runsaasti hienoainespitoista. Pulterikossa ja louhikossa lohkareet vallitsevina.
K : 5	Iskostunut, tiivis, tiukkaan pakkautunut ja lohkareinen	Iskostunut, kovettunut hiekka. Kova runsaslohkareinen pohjamoreeni, rapakallio	Maalajirakeiden luja liittyminen toisiinsa. Moreeni runsaslohkareista ja suhteistunutta.

Tie- ja vesirakennushallituksessa on koneresurssin valintaa varten kehitetty edelliseen pohjautuva 7-luokkainen luokittelu, ks. kohta 3.7.

1.332 KAIVULUOKAN MÄÄRITÄMINEN POHJATUTKIMUKSEN PERUSTEELLA

Kaivuluokan määrittämiseen soveltuvat varsin monet pohjatutkimusmenetelmät. Tätä luokitusta sovellettaessa on pidetty tarpeellisena, että ainakin tärkeimmissä tapauksissa kaivuluokan määrittäminen ei perustuisi vain yhteen menetelmään, vaan että se suoritettaisiin vähintään kahden menetelmän perusteella. Painokaira, heijarikaira, seisminen luotaus, syväkaira ja koekuoppien kaivu ovat olleet useimmiten soveltuvia menetelmiä. Painokairauksen, samoin kuin kevyen heijarikairauksenkin käyttökelpoisuus rajoittuu vain kaivuluokkiin K:1..K:3. Raskaalla heijarikairalla voidaan tunkeutua K:4-luokan maalajin läpi, mutta K:5-luokan maahan ei raskaan heijarikaira tunkeudu juuri lainkaan. Seismisen luotauksen käyttämisen perusteena on se maaperän ominaisuus, että samassa homogeenisessä geologisessa kerrostumassa on täryaalloilla muuttumaton nopeus. Sen suuruus riippuu maaperän kimmoisista ominaisuuksista ja tiiviyydestä. Menetelmän käyttämisen vaikeutena on kuitenkin etenemisnopeuden riippuvuus maan kyllästysasteesta. Menetelmä antaa hyviä tuloksia sekä pohjaveden pinnan alapuolella että täysin tai lähes kuivassa maassa. Syväkairausten yhteydessä tarkkaillaan maaputken painu-

misnopeutta kairauksen aikana. Taulukossa 4 on esitetty arvosteluperusteet kaivuluokan määrittämistä varten edellä mainituilla menetelmillä. Painokairausta käytettäessä saadaan luokkien K:1 ja K:2 raja hakemalla se syvyys, jossa kaira täysin kuormittuna (100 kp) painuu yhden metrin 100 puolikierröksellä. Kaivuluokan K:3 maahan ei painokaira tunkeudu juuri lainkaan. Kuvassa 8 on esitetty seismisen nopeuden riippuvuus maan kyllästysasteesta eri kaivuluokissa.

Käytännössä on todettu hyväksi menetelmäksi käyttää samanaikaisesti seismistä luotusta ja heijarikairausta maalajien kaivuluokkaa määrittettäessä. Kuvassa 9 on esitetty diagrammi kaivuluokan määrittämiseksi näillä kahdella menetelmällä.

Esimerkkinä luokituksen käytöstä voidaan tarkastella moreenimaalajien luokittamista. Tällöin on ensisijaisesti määrittettävä, mihin kolmesta kaivuluokasta, K:3..K:5, tutkittava moreeni kuuluu. Kaikille moreeneille on tyypillistä kivinen rakenne. Tiiviyyteen ja hienoainespitoisuuteen on vaikuttanut maalajin geologinen historia. Moreenipeitteen pintaosissa on tavallisesti noin 1 metrin paksuinen kivinen, löyhähkö pintakerros ja sen alla tasalaatuinen, edellistä tiiviimpi ja hienoainespitoisempi, kivinen moreeni. Alimpana on tiiviiksi pakkautunut, lohkarainen, märkä ja kova pohjamoreeni, joka kuuluu kaivuluokkiin K:4 ja K:5. Mikäli esim. koekuopan avulla saadaan selville, mihin luokkaan pintakerroksen alla oleva moreeni kuuluu, voidaan jo geologisen kerrosjärjestyksen perusteella tehdä

verrattain tarkkoja arvioita pelkkien maastohavaintojen jälkeen.

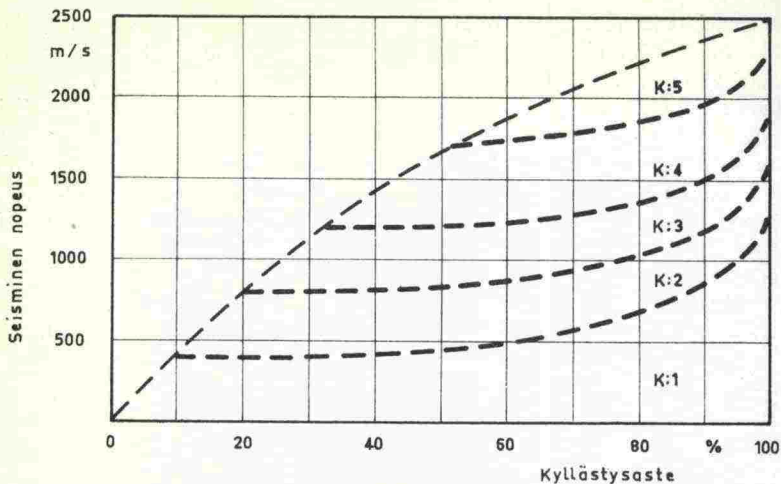
Kivisyyden ja lohkareisuuden määrällinen toteaminen pohjatutkimuksen avulla ei ole yleensä mahdollista. Kivien koosta voidaan tehdä päätelmiä esim. vain syväkairausten yhteydessä. Tämän pohjatutkimuksiin liittyvän

puutteen vuoksi on selostuksiin aina riittävän selvästi merkittävä ne kairausreiät, joissa kairaus on jouduttu keskeyttämään kivien vuoksi. Kivisyyttä ja lohkareisuutta voidaan tutkia kaivamalla koekuoppia niille alueille, joilla kairausten perusteella on syytä olettaa esiintyvän kivisyyttä.

Taulukko 4. Arvosteluperusteet kaivuluokan määrittämistä varten.

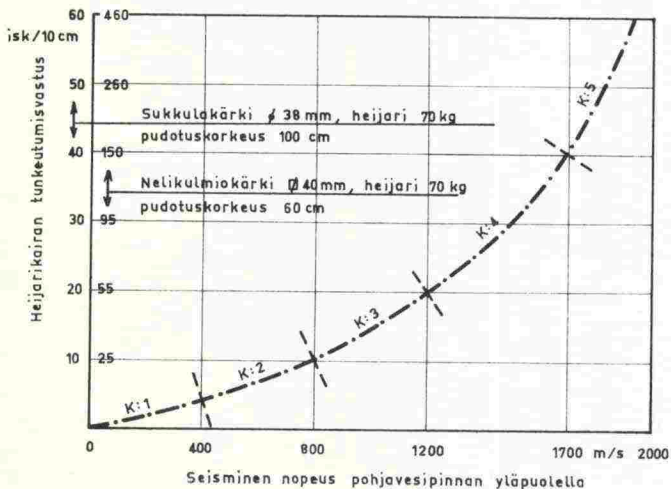
Kaivu- vaikeus luokka	Maalajiominais- suudet	Kuiva- tilavuus- paino (t/m ³)	Seisminen nopeus m/s		Heijari- kairaus isk/10 cm (*)	Syvä- kairaus nopeus m/h
			Pohjaveden- pinnan ylä- puolella	Pohjaveden- pinnan ala- puolella		
K : 1	Lajittuneet hienorakeiset maalajit: hiekkainen sora, hiekka, hieta, hiesu, märkä savi, lieju, muta, turve	< 1.7	< 400	< 1 300	0 ... 5 (0 ... 12)	> 1.5
K : 2	Lajittuneet kiviset maalajit: kivinen sora	1.7 ... 1.9	400 ... 800	1 300 ... 1 600	5 ... 10 (12 ... 25)	1.0 ... 1.5
K : 3	Kiinteät ja kiviset maalajit: kuiva savi, hiesu-, hieta- ja hiekkamoreeni	1.8 ... 2.0	800 ... 1 200	1 600 ... 1 900	10 ... 20 (25 ... 55)	0.5 ... 1.0
K : 4	Tiukkaan pak- kautuneet ja suhteistuneet tai lohkareiset maalajit: poh- jamoreeni, pul- terikko ja lou- hikko	2.0 ... 2.2	1 200 ... 1 700	1 900 ... 2 300	20 ... 40 (55 ... 150)	0.2 ... 0.5
K : 5	Kova runsas- lohkareinen moreeni	> 2.2	> 1 700	> 2 300	> 40 (> 150)	< 0.2

*) Ylemmät arvot sukkulakärjelle, alemmat (suluissa olevat) nelikulmiokärjelle, ks. kuva 9.



Kuva 8:

Arvioitu seisminen nopeus eri kaivuvaikeusluokissa maan kyllästysasteen muuttuessa.



Kuva 9:

Kaivuluokan määrittäminen heijarikairan tunkeutumismäsyksen ja seismissen nopeuden avulla.

1.34 KAIVETTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN KAIVU- LUOKAN PERUSTEELLA

Kaivuluokan perusteella on pyrittävä arvioimaan maalajin kaivettavuus. Kaivettavuudella tarkoitetaan kaivukoneen suorituskykyä (tuotantoa m³/h) maata irroitettaessa ja kuormattaessa tai siirrettäessä. Kohdassa 4 on esitetty diagrammeja, joiden avulla voidaan määrittää erikokoisten koneiden suorituskyky ja sitä vastaava yksikkökustannus.

Parhaillaan käynnissä oleva tutkimus, jossa edellä esitettyä luokitusta tarkistetaan ja täydennetään, antanee lähivuosien aikana uusia, laajempaan aineistoon perustuvia tuloksia sekä kaivuluokan että kaivettavuuden arvioimista varten.

Lukua 1 koskevaa kirjallisuutta

- American Road Builders Association.
Soil Test for Military Construction.
Technical Bulletin N:o 121/1947.
- Arhippainen, E. ja K. Korpela. Maa-
perän kaivettavuuden määrittämi-
nen kaivuvaikeusluokan perusteella.
Rakennustekniikka 1964:11.
- Arhippainen, E. Maankaivuvaikeusluo-
kitus. Maa- ja vesirakennus. Hel-
sinki 1968.
- Beskow, G. Tjälproblem. Bygg I.
Stockholm 1961.
- Keinonen, L. Routaantumisolosuhteita
valaisevia tietoja maamme ilmas-
tosta. Rakennusinsinööri 1955:11.
- Ruckli, R. Der Frost im Baugrund.
Wien 1950.
- Soveri, U. Routa ja routivuus. Suo-
men Geologia. Helsinki 1964.
- Soveri, U. ja S. Johansson. Havain-
toja lumesta raivatun maan routaan-
tumisesta ja sulamisesta Suomessa
v. 1958 . . . 1964. Valtion teknillisen

tutkimuslaitoksen julkaisu n:o 107.
Helsinki 1966.

Tie- ja vesirakennushallitus. Normaali-
määräykset ja ohjeet. 1964.

Tie- ja vesirakennushallitus. Tien-
rakennustyöt, Yleinen työselitys.
1967.

VSS: Vereinigung Schweizerischer Stras-
senfachmänner. CBR. Zürich.

2. RAKENNUSMATERIAALIEN LAATU- VAATIMUKSET

2.1 Pengerrys- ja patomateriaalit

2.11 PENKEREET

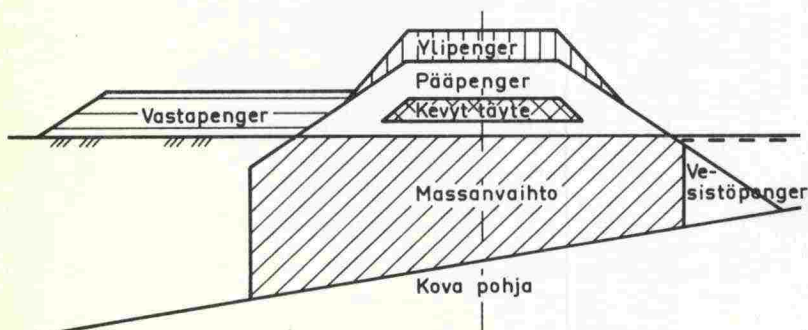
Tiepenkereiden rakennusmateriaaliksi kelpaavat periaatteellisesti kaikki kivennäismaalajit tai kallioliouhe, mutta rakenteen vaativuudesta, rakennuskohteesta (pääpenger, vastapenger jne.) sekä olosuhdetekijöistä (maapohjan kantavuus, vuodenaika, routivuus jne.) riippuen rajoitetaan kiviainesten käyttöä asettamalla materiaaleille laatuvaatimuksia tai -suosituksia. Nykyisin on maa- ja kivilajien sekä niiden jalosteiden (murskaus- ja seulontatuotteet) lisäksi mahdollisuus käyttää pengertäytteenä myös ensi sijaisesti muuhun rakennusteollisuuteen tarkoitettuja tuotteita sellaisenaan (esim. kevytsora) tai teollisuuden jätteitä (esim. koksikuona).

Varsinaiset tiepenkereen pengertäyttekohteet on esitetty kuvassa 10. Muut tiepenkereeseen liittyvät osat, joita kuvassa ei ole esitetty, kuten

linja-autopysäkit, levähdyspaikat, kiihdytyskaistat, yms., tehdään yleensä periaatteellisesti samalla tavalla ja samasta materiaalista kuin varsinainen pääpenger.

2.111 MAAPENKEREET

Tierakennustyötä varten pengertäytteeksi soveltuvien maalajien kelpoisuutta arviolta tuottaa usein vaikeuksia rajanveto kelpaavien ja kelpaamattomien maalajien välille. Periaatteessa soveltuvat kaikki kivennäismaalajit käytettäviksi pengerrystyössä, mutta olosuhdetekijät (vuodenaika, sää, työkohte jne.) eivät aina mahdollista varsinkaan hienorakeisten maalajien käyttöä tähän tarkoitukseen. Ratkaisevana tekijänä on tällöin yleensä maalajin liian suuri vesipitoisuus. Maalajin käsittelyä haittaava veden ylimäärä voi johtua mm. luon-



Kuva 10:
Kaaviokuva penkereen täyttökohteista.

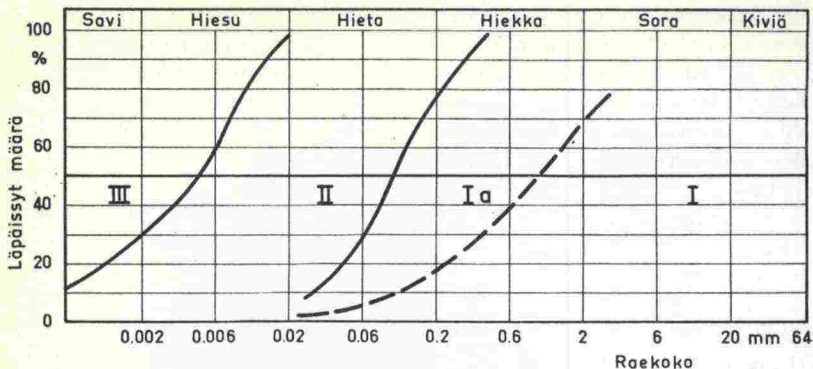
nontilaisista olosuhteista, yllättävästä sateesta tai liian nopeasta pengertämisestä, jolloin huokosvedenpaine nousee. Hienojakoisista maalajeista, joiden vedenläpäisevyys on pieni, ei ylimääräinen vesi pääse poistumaan riittävän nopeasti. Tällöin vähäinenkin, esimerkiksi työkonene aiheuttama tärinä velliinnyttää maalajin niin, että sen käsittely vaikeutuu, ja esim. pinnan muotoilu ja penkereen tiivistäminen on suorastaan mahdotonta. Talvella saattaa näiden hienojakoisten ja ylimärkien maalajien käsittely pengerrystyössä näennäisesti onnistua, kun maalajit päästetään jäätymään. Tällöin niitä voidaan jopa jonkin verran tiivistääkin ilman suurempia haittoja. Tällaisesta työstä ovat jälkiseuraukset kuitenkin aina nähtävissä. Jäätyneen penkereen sulaminen voi kestää useita vuosia, se tiivistyy hitaasti aiheuttaen vielä rakenteen valmistumisenkin jälkeen kunnossapitäjälle jatkuvia töitä ja usein suuriakin kustannuksia. Hienojakoisten maalajien käsittely on myös leikkaus- ja kuljetusvaiheessa hankalaa. Väärä olettaus maalajien käsiteltävyydestä voi johtaa väärin konevalintoihin ja työtapoihin. Tällöin voivat myös kuljetustyöt kärsiä paljon maapohjan ja siirrettävän materiaalin velliintymisestä. Maalajin vesipitoisuuden lähestyessä ns. juoksurajaa ei niitä voi yleensä sellaisenaan käyttää pengerrystyössä, ja niiden läjittäminenkin voi tuottaa suuria vaikeuksia. Hyvästä materiaalista (esim. sora) voidaan tiepenger sen sijaan tehdä vuodenajasta ja sääolosuhteista riippumatta.

Maalajien käytön suunnittelun ja niiden käsittelyn kannalta onkin tärkeätä tietää edes karkeasti ne maalajien rajat, joiden puitteissa jonkinlainen käyttöluokittelu olisi mahdollista. Kuvissa 11 ja 12 on esitetty selityksineen uusi kivennäismaalajien käyttöluokitus helpottamaan pengermateriaalien laadun arvostelua pengerrystöitä suunniteltaessa ja suoritettaessa.

Rakeistetun masuunikuonan käyttö pengertäytteenä on myös mahdollista niillä alueilla, missä sitä on kohtuullisin kustannuksin saatavissa. Rakeisuusvaatimukset ovat tällöin samat kuin kivennäismaalajienkin.

Eloperäisiä maalajeja ei saa käyttää pääpenkereen materiaalina paitsi mikäli esim. kuivattu turve toimii ns. kevyenä täytteenä.

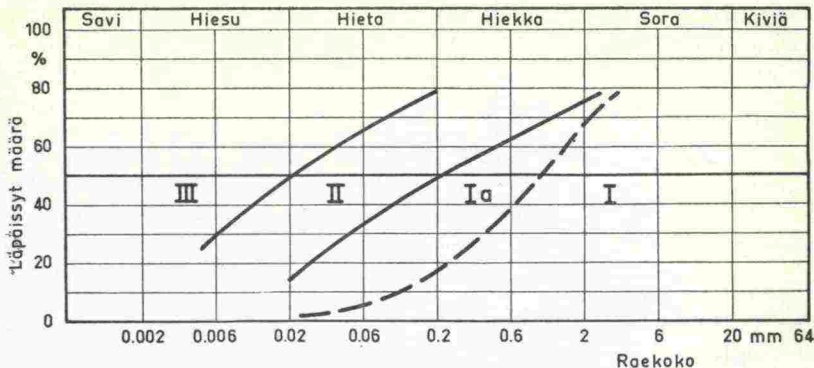
Pengerrettäessä veteen tai pengertämällä tehtävässä massanvaihdossa on pengermateriaalin oltava mahdollisimman karkeata, esim. kivistä soraa. Hienorakeisin pengertäytteeksi soveltuva materiaali on tällöin hiekka tai poikkeuksellisesti hiekkamoreeni. Vain erikoisluvalla saa käyttää em. hienorakeisempia maalajeja. Matalissa vesistöpenkereissä (tsv on alle 2 m ylimmästä vesipinnasta) ei routavauriomahdollisuuden vuoksi pidä käyttää routivaa materiaalia alueella, joka on 0.5 m alle alimman vedenpinnan ja ulottuu 0.5 m ylimmän vedenpinnan yläpuolelle. Tälle alueelle ajettavan maalajin on oltava sellaista eristyshiekkaa, tai sitä karkeampaa maalajia, jonka kapillaarisuus on alle 35 cm.



Kuva 11:

Lajittuneet maalajit pengermateriaalina.

- I: Pengerrys- ja tiivistystyössä ei yleensä esiinny vaikeuksia. Tämän ryhmän maalajit soveltuvat pengermateriaaliksi myös ns. pohjaantäytöissä ja vesistöpenkereissä.
- Ia: Tämän ryhmän maalajien tiivistäminen ja käsittely on epäedullisissa olosuhteissa vaikeampaa kuin I ryhmän maalajien.
- II: Vähäinenkin ($\geq 2\%$) optimivesipitoisuuden ylitys aiheuttaa vaikeuksia maalajin tiivistämisessä. Vesipitoisuuden lähestyessä juoksurajaa ei maalajia yleensä voi käyttää sellaisenaan pengermateriaalina. Penkereen stabiilisuus on aina selvitettävä. Maalajit soveltuvat käytettäväksi ns. voileipä-rakenteessa routarajan alapuolella ja vastapenkereissä. Rakenne on yleensä välittömästi verhoiltava pintaeroosiosta aiheutuvien valumien estämiseksi. Tämän ryhmän maalajien käsiteltävyyttä voidaan edullisten olosuhteiden vallitessa parantaa stabiloimalla maalajit kalkilla.
- III: Maalajia ei yleensä saa käyttää pengermateriaalina muualla kuin vastapenkereissä. Kuivakuorisavea voidaan erikoisluvalla käyttää penkereiden alaosissa routarajan alapuolella, mikäli saven vesipitoisuus on riittävästi alle juoksurajan ja jos savi saadaan tiivistetyksi niin, että penkereen vakavuus säilyy. Saven tiivistäminen on yleensä vaikeata. Saven käsiteltävyyttä voidaan edullisten olosuhteiden vallitessa parantaa stabiloimalla se kalkilla.



Kuva 12:

Moreenit pengermateriaalina.

I: Pengerrys- ja tiivistystyössä ei yleensä esiinny vaikeuksia. Tämän ryhmän maalajit soveltuvat myös pengermateriaaliksi hyvin ns. pohjaantäytöissä ja vesistöpenkereissä.

Ia: Mikäli hiekka- ja sora-moreenien hienoainesmäärä on suuri, voi optimivesipitoisuuden ylitys joskus haitata rakennustyötä. Karkeimmat tämän ryhmän maalajeista soveltuvat pengermateriaaliksi myös ns. pohjaantäytöissä ja vesistöpenkereissä.

II: Vähäinenkin ($\geq 2\%$) optimivesipitoisuuden ylitys aiheuttaa yleensä vaikeuksia rakennustyössä. Suuri veden ylimäärä (yli juoksurajan) saattaa estää maalajin käytön sellaisenaan pengermateriaalina. Rakenne on yleensä välittömästi verhoiltava pintavesieroosiosta aiheutuvien valumiin estämiseksi. Tämän ryhmän maalajien käsiteltävyyttä voidaan edullisten olosuhteiden vallitessa parantaa stabiloimalla maalajit kalkilla.

III: Tämän ryhmän maalajien käyttö pengermateriaalina onnistuu yleensä vain erittäin edullisissa olosuhteissa. Soveltuvat käytettäväksi ns. voileipärakenteessa routarajan alapuolella ja vastapenkereissä.

Rakenne on yleensä välittömästi verhoiltava pintavesieroosiosta aiheutuvien valumiin estämiseksi. Tämän ryhmän maalajien käsiteltävyyttä voidaan edullisten olosuhteiden vallitessa parantaa stabiloimalla maalajit kalkilla.

Maalajeista tehtävän penkereen rakennusmateriaali ei saa sisältää sellaisia kiviä tai lohkareita, joiden läpimitta on suurempi kuin kaksi kolmasosaa ($\frac{2}{3}$) yhdellä kertaa tiivistettävän kerroksen paksuudesta ja mieluiten vain puolet ($\frac{1}{2}$) siitä.

Penger materiaalien käyttöä suunniteltaessa on lisäksi otettava huomioon, että tien alusrakenteen yläpinnan ja luiskan leikkauspisteestä lähtevän suoran 1:1.5 (1:1) ulkopuoliselle pengerosuudelle saa sijoittaa varsinaiseen pääpenkereeseen kelpaamattomia maalajeja, mikäli niiden käytöstä ei ole haittaa myöhemmin tietä mahdollisesti levitettäessä tai mikäli niiden käytöstä ei aiheudu vaurioita (valumia, sortumia, painumia) valmiiseen rakenteeseen tai haittaa tierakenteen kuivattamiselle ja kunnossapidolle.

Eristyshiekkaa karkeamman pengertäytteen osalta on otettava huomioon, että pohjamaan kuuluessa luokkaan E tai F on varsinkin 1.5 m matalamman ja tarvittaessa myös sitä korkeamman penkereen kohdalle pohjamaan päälle ajettava suodatinmateriaalia hienojakoisen pohjamaan karkeaan pengermateriaaliin pumppautumisen estämiseksi.

2.112 KIVIPENKEREET

Kivipenkereet (louhepenkereet) tehdään yleisimmin kalliolouheesta, mutta rajoitetusti myös esim. sorakuopalta seulotuista (välätyistä) kivistä ja lohkareista ns. avoimina penkereinä. Viime vuosina on rakennettu jonkin verran myös sellaisia matalia kivipenkereitä, joissa kivien välit on täytetty

maa-aineksella, yleensä hiekalla. Tästä viimeainitusta pengermateriaalia (täytettä) tuhlaavasta rakennustavasta ollaan todennäköisesti kuitenkin luopumassa, sillä varsinkin louhepenkereen kantavuus on yleensä ilman välitäytettäkin riittävä, kunhan penkereen pintaosa tiivistetään kerroksittain pienillä louhekivillä ja sepelillä, murskeella, murskesoralla tai soralla suodatinperiaatetta noudattaen.

Kivipenkereen alaosaan käytettävän materiaalin lohkarokoolla ei ole pengermateriaalina varsinaista muuta ylärajaa kuin minkä kulloinkin käytössä oleva kuormaus-, kuljetus- ja penkereen tasoitus- sekä tiivistyskalusto asettaa päätypenkereen teossa. Kerroksittain pengerrettäessä ja päätypenkereen yläosassa tulisi lohkarokoon olla mahdollisimman pieni; suurien lohkaroiden koko saa tällöin hyvän tiivistymisen kannalta olla enintään kaksi kolmasosaa ($\frac{2}{3}$) tai mieluummin vain puolet ($\frac{1}{2}$) yhdellä kertaa levitettävästä kerrospaksuudesta. Penkereen ylimmän metrin osalla (alusrakenteen pinnasta mitattuna) saa lohkarokoko olla enintään 60 cm. Kivipenkereen yläosa ja päällyysrakenne jakavan kerroksen yläpintaan saakka voidaan tehdä myös karkeasta kalliomurskeesta, jonka suurin kivikoko on puolet murskekerroksen paksuudesta ja enintään 200 mm.

Kivipenkereen alla on alle 1.5 m:n penkereissä käytettävä suodattimena soraa tai hiekkaa pohjamaan ollessa pehmeätä (ei kuitenkaan ns. pohjaantäytöissä).

Mikäli kivien välit matalissa penkereissä täytetään, on täytemateriaa-

lin oltava sellaista, mikä helposti saadaan tunkeutumaan täryjyrän avulla ja tarvittaessa vettä apuna käyttäen kivien väliin. Tähän tarkoitukseen soveltuu yleensä parhaiten hiekka tai muu routimaton tasarakeinen kiviaines.

Kiven laatuun nähden ei kivipenkereiden osalta yleensä aseteta vaatimuksia, mutta rapakivialueilla on vältettävä moroutuvien kivien ja louheen käyttöä pengerrystöissä.

2.113 VASTAPENKEREEET

Tien vastapenkereisiin soveltuvat kaikki kivennäismaalajit sekä kallioulouhe. Eloperäisten maalajien, kuten turpeen käyttöä vastapenkereisiin on vältettävä, sillä turpeen kuivuessa jää niiden merkitys vastapainona varsin vähäiseksi.

Vastapenkereiden päällä ei yleensä liikennöidä kunnossapitotöidenkään yhteydessä, joten käytännössä ei sen materiaalille tarvitse asettaa kovin suuria vaatimuksia. Materiaaliksi voidaan tämän vuoksi suositella kuvissa 11 ja 12 esitettyjä II ja III luokan maalajeja, joiden käyttöä sen sijaan tulisi välttää varsinaisessa pääpenkereessä.

Vastapenkereitä mitoitettaessa otaksutaan yleensä, että niihin käytetty materiaali vastaa tilavuuspainoltaan pääpenkereen materiaalia. Mikäli näin ei ole, olisi rakennustyön aikana tehtävä vastapenkereen paksuuteen tilavuuspainoeroa vastaava korjaus.

2.114 YLIPENKEREEET

Pengerpainumien nopeuttamiseksi varsinaisen tiepenkereen päälle väli-

aikaiseksi kuormitukseksi ajettavan ylipenkereen materiaalin tulee mieluiten olla suhteellisen karkeata, routimatonta ainesta, jotta ko. penkereen päällä voi liikennöidä.

Koska ylipenger poistetaan sen jälkeen, kun penger on riittävästi painunut, on sen materiaalin oltava mieluiten tien jakavan kerroksen vaatimukset täyttävää eli lähinnä kuvissa 11 ja 12 esitettyä I luokan ainesta, sillä tällöin ei ylipengertä tarvitse kokonaan poistaa, vaan ainoastaan jakavan kerroksen yläpintaan saakka, ja toisaalta voidaan ko. materiaali käyttää uudelleen jossakin lähialueella tien jakavassa kerroksessa. Myös muiden kuin em. I luokan materiaalien käyttö ylipenkereessä on teknillisesti mahdollista, mutta tällöin yleensä kasvavat ko. kiviaineksen poistokustannukset, ja materiaalin taloudellinen käyttö vaikeutuu työmaan ollessa tässä vaiheessa usein jo lähellä valmistumistaan.

2.115 KEVYET PENKEREEET

Kevyiden penkereiden käyttömahdollisuuksia ja suunnittelua on käsitelty osassa IV, kohdat 3.173 ja 3.182.

Kevyenä pengertäytteenä on nykyisen yleisimmin käytetty lajitteleमतonta kevytsoraa (Elko ja Leca), mutta myös koksikuona, kevytbetoni (-jäte), kuivattu turve ja jopa sahanpurukin ovat tarkoitukseen soveltuvia. Viimemainitut, turve ja sahanpuru, ovat kuitenkin vähemmän käytettyjä, koska on olemassa vaara, että ne lahoavat varsin lyhyessä ajassa.

Myös muut lahoamattomat täytteet, kuten esim. lastuvillalevyjäte ovat käyttökelpoisia, mutta sitä samoin kuin kevytbetonijätettäkin on yleensä varsin rajoitetusti saatavissa. Tulevaisuudessa voitaneen käyttää myös muovia (esim. Styrox) kevyenä pengertäytteenä.

Kevyeksi pengertäytteeksi soveltuvan materiaalin märkätilavuuspainon tulisi olla mieluiten alle 1, jotta sen käytöstä saataisiin toivottu hyöty.

Edellä mainittujen kevyiden täytteen tilavuuspainoina voidaan alustavissa mitoituksissa veden pinnan yläpuolisilla pengerosuuksilla yleensä käyttää seuraavia arvoja:

kevytsora (\emptyset 0...30 mm)	0.5 t/m ³
koksikuona	0.9 „
turve (kuivattu pistoturve)	0.2 „
sahanpuru	0.5 „
kevytbetonijäte	0.8 „
lastuvillalevyjäte	0.7 „
muovi	0.03 „

Tarkkoja laskelmia varten on käyttöön valitun materiaalin tilavuuspaino pyrittävä aina tarkistamaan kussakin työssä erikseen.

Koska kevytsora on toistaiseksi eniten käytössä oleva kevyt materiaali, seuraavassa selostetaan tarkemmin sen ominaisuuksia.

Kevytsora koostuu pyöreistä rakeista, joiden väliin jäävä (ulkoinen) huokostila on n. 30 % koko tilavuudesta. Rakeitten sisäinen huokostilavuus on n. 55...58 % koko tilavuudesta, joten kevytsoran huokostilavuus on yhteensä n. 85...88 %.

Käsittelemätön materiaali on rakeisuudeltaan normaalisti 0...20 mm

läpimittaista. Eri lajitteiden kuivatilavuuspainot vaihtelevat normaalisti löysänä 0.20...0.47 t/m³. Lajittelemattoman kevytsoran kuivatilavuuspaino löysänä on n. 0.25...0.32 t/m³.

Kevytsoraa ei kovin paljon voida tiivistää, mutta levitystyön yhteydessä sitä kuitenkin jyrätään lähinnä kantaavuuden lisäämiseksi. Tällöin tapahtuu pientä kevytsorarakkeiden hienontumista ja tiivistymistä niin, että tilavuuspaino kohoaa lukemiin 0.3...0.34 t/m³.

Erittäin epäedullisissa kosteusolosuhteissa kevytsoran ollessa upotettuna veteen sen vesipitoisuus saattaa olla jopa 60...100 paino-% kuivapainosta ja tilavuuspaino kohota arvioihin 0.55...0.70 t/m³. Käytännössä kevytsoran ollessa sijoitettuna kuivaan penkereeseen ei tällaista tilannetta kuitenkaan voi esiintyä, ja vesipitoisuus voikin kohota vain n. 35 paino-%:iin kevytsoran saadessa vettä vain pohjalta oman kapillaarisen imunsa voimalla sekä sade- ja sulavesiä luiskista. Tällöin tilavuuspaino on n. 0.40...0.46 t/m³. Jos tähän lisätään pieni varmuusvara, saadaan käyttökelpoiseksi mitoitustilavuuspainoksi 0.5 t/m³. Vastaavasti, jos on pelättävissä, että kevytsora joutuu ajoittain veden alle, saadaan tilavuuspainoksi 0.6 t/m³. Jos se joutuu pysyvästi veden alle, on tilavuuspainona syytä käyttää 0.7 t/m³. Tällaisissa tapauksissa on aina tarkistettava, ettei kevytsoran voimakas noste aiheuta luiska- tai pengersortumaa. Tilavuuspainona on tällöin syytä käyttää arvoa 0.4 t/m³ eli nosteen arvoa 0.6 t/m³.

Kevytsoran huono lujuus on pahin sen käyttöön liittyvistä ongelmista. Materiaalihan on verrattain haurasta ja keveytensä sekä rakeitten pyöreän muodon vuoksi heikosti kantavaa. Haurautta ja siihen liittyviä ominaisuuksia on tutkittu mm. pudotusvasarakokein. Tällöin on todettu, että kevytsoran haurausarvo on n. 81...85, kun esim. kestopäällystystarkoitukseen käytettävän materiaalin haurausarvo saa olla korkeintaan 60. Edelleen on havaittu, että kevytsoran lujuus ei oleellisesti muutu sen joutuessa tierungossa normaalisti vallitsevien kuormitus-, kosteus- ja lämpörasitusten alaiseksi. Mikäli kuitenkin on todennäköistä, että kevytsora joutuu olemaan pysyvästi veden alla, se on mikäli mahdollista, suojattava jäätymiseltä ja levitys suoritettava roudattomana vuodenaikana. Yleensä on kuitenkin vältettävä kevytsoran käyttöä veden alla.

Kevytsoran ominaisuuksista mainitakoon vielä, että sillä ei ole metalleja syövyttäviä ominaisuuksia, kuten joskus on epäilty. Joutuessaan kosketukseen metallipinnan kanssa (aalto-peltirummut) se aiheuttaa kosteissa olosuhteissa samanlaisen vähäisen kosketuskorroosion kuin muut neutraalit materiaalit (esim. lasi).

Pohjavedessä esiintyvät suolat, emäkset ja hapot eivät tietävästi vaikuta haitallisesti kevytsoraan.

2.12 MAAPADOT

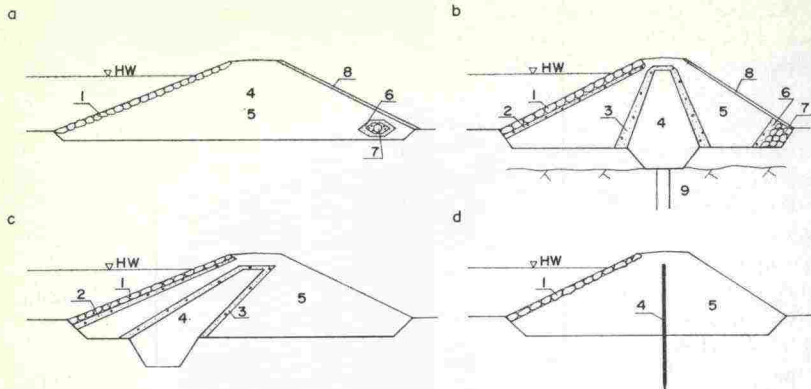
2.121 TYYPIT JA RAKENTEELLISET OSAT

Maapatojen suunnittelua on käsitelty myös osassa IV, kohta 3.3. Seu-

raavassa käsitellään maapatojen materiaalikysymyksiä.

Maapatojen rakentamiseen käytettävälle materiaaleille ei voida esittää niin yksityiskohtaisesti määrättyjä yleisiä laatuvaatimuksia, kuin esim. tienrakennuksessa käytettävälle materiaaleille. Maapadot rakennetaan eri maa-lajeista ja louhoksesta. Padon rakentamiseen joudutaan usein käyttämään 3...5 erilaista rakennusmateriaalia. Yksinkertaisimmissa tapauksissa (mm. työpatojen ollessa kysymyksessä) voidaan maapato rakentaa pääasiallisesti vain yhdestä materiaalista (kuva 13 a).

Teknillisesti tarkoituksenmukaiseen ja taloudellisesti mahdollisimman edulliseen ratkaisuun pyrittäessä muodostaa maapadon tyypin valitseminen usein vaikeimman suunnittelutyöhön liittyvän tehtävän. Tyyppiä selvitetäessä on kiinnitettävä huomiota mm. rakennuspaikan korkeussuhteisiin, maaperään ja ilmastoon sekä padon rakentamiseen soveltuvien materiaalien saantimahdollisuuksiin. Tietyille rakennuspaikalle voidaan usein rakentaa tyyppiltään erilaisia maapatoja, jotka täyttävät toiminnallisesti padolle asetettavat vaatimukset. Rakennusmateriaalien saantimahdollisuudet vaikuttavat yleensä määräävästi patotyypin valintaan, kun toiminnallisten vaatimusten lisäksi otetaan huomioon rakennuskustannukset. Patotyypin valitseminen on näin ollen mahdollista vasta sitten, kun padon rakennuspaikan ja mahdollisesti vaihtoehtoisten rakennuspaikkojen maaperän geoteknillisten ominaisuuksien lisäksi on selvitetty rakennusmateriaalien ottopaik-



1. Kiviheitoke
2. Märän luiskan suodatin
3. Tiivistyssydän suodatin
4. Tiivistyssydän
5. Tukipenger

6. Salaojan suodatin
7. Salaoja
8. Kuivan luiskan verhous
9. Pohjan tiivistys (esim. injektoitu kallio)

*Kuva 13:
Yleisimmät maapatotyypit.*

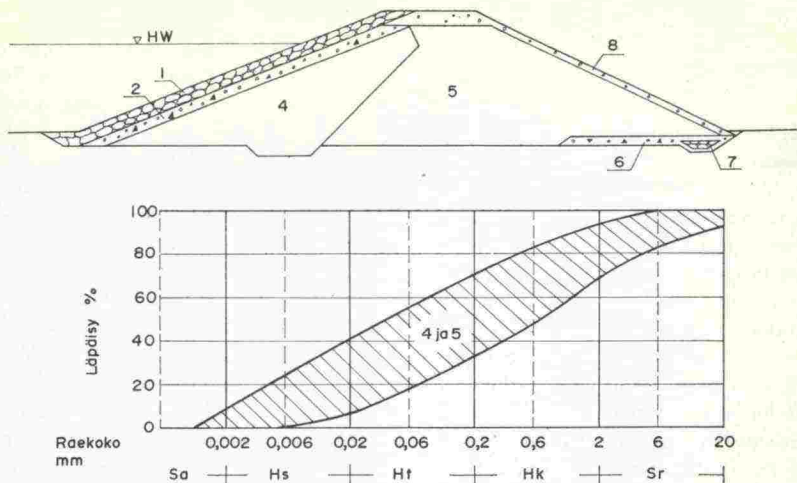
kojen sijainti ja niistä saatavien käytökelpoisten materiaalien määrä ja laatu.

Kuvassa 13 on esitetty eräitä yleisimmän Suomessa käytössä olevia maapatotyyppisiä. Kuvassa on mainittu myös tärkeimmät maapatotien rakenteelliset osat.

Homogeeninen maapato (kuva 13 a ja 14) rakennetaan pääasiassa yhdestä maalajista. Tämä patotyyppi tulee kysymykseen mm. silloin, kun padon rakentamiseen soveltuvaa moreenia on saatavissa rakennuspaikan läheisyydestä. Matalahko (3...4 m) homogeeninen pato voidaan rakentaa myös kuivakuorikerroksesta otetusta savi- tai silttimaalajista. Homogeeni-

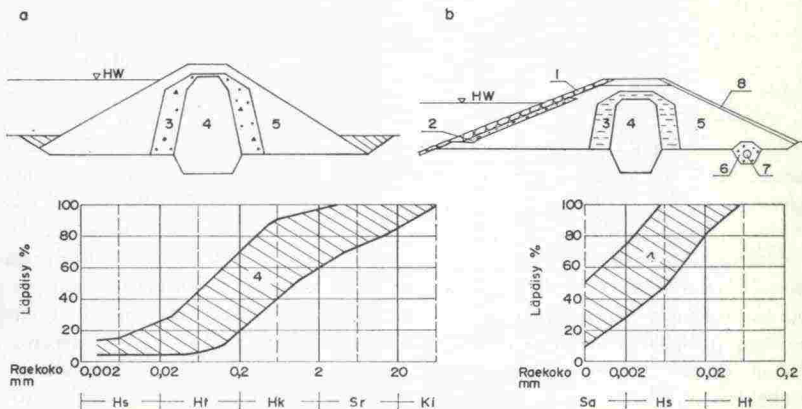
nen pato soveltuu mm. tilapäiseksi työpadoksi. Suurimmat, pääasiassa yhdestä materiaalista rakennetut, homogeeniset maapatot ovat 40...50 metriä korkeita.

Jos maapaton rakentamiseen on käytettävissä useita rakeisuudeltaan ja vedenläpäisevyydeltään erilaisia maalajeja, rakennetaan pato ns. vyöhykepadoksi (kuvat 13 b, c ja 15) siten, että patoon tehdään erityinen tiivistyssydän, joka muodostaa padon vettäpitävän osan. Tiivistyssydän ympäröidään suodatinkerroksilla. Lisäksi patoon rakennetaan ns. tukipenger. Tiivistyssydän voidaan rakentaa joko pystysuoraan tai kaltevaan asentoon. Jos tiivistyssydän rakentamiseen



Kuva 14:

Hieta- ja biekkamoreenista rakennettu homogeeninen maapato (Arkkusaaren pato, Siikajoen vesistön järjestely). Työnaikaiset kuljetukset on sallittu vain tukipenkereen (5) päällä. Padon osien numerointi sama kuin kuvassa 13.



Kuva 15:

Vyöhykepato (Saimaan kanava, Soskua). Kuvassa a padon tiivistyssydän on rakennettu moreenista ja kuvassa b kuivakuorikerroksesta otetusta savesta ja hiesusta.

soveltuvia maalajeja ei ole saatavissa, on se rakennettava puusta tai erilaisista tekoaineista. Sydän on tällöin ohut ja se sijoitetaan joko padon keskelle (kuva 13 d) tai märkään luiskaan.

Maapadossa ei aina tarvita kaikkia kuvassa 13 mainittuja rakenteellisia osia. Varsinkin tilapäisistä työpadoista jätetään tavallisesti rakentamatta ne osat, jotka eivät ole välttämättömiä padon suojassa rakennettavan työkohteen kuivanapitämiseksi ja joiden poistaminen ei vaaranna työntekijöiden, padon suojassa tehtävän rakenteen ja itse padon turvallisuutta.

Tukipenkereeseen, tiivistyssydämeen, suodattimiin ja verhouksiin tulevien materiaalien käyttökelpoisuutta arvioitaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että toistensa kanssa kosketukseen joutuvat rakeisuudeltaan erilaiset materiaalit täyttävät keskenään ns. suodatinkriteeriot, joita käsitellään jäljempänä.

2.122 TUKIPENGER-MATERIAALIT

Maapadon vakavuus, padon poikkeileikkauksen koko ja rakennustyössä tarvittavien materiaalien määrä riippuu oleellisesti tukipenkereen rakentamiseen käytettävän materiaalin laadusta. Tukipengermateriaali on tämän vuoksi valittava siten, että mahdollisimman pienellä massamäärällä saavutetaan riittävä varmuus (vakavuus) padon sortumista vastaan ja lisäksi siten, että tukipengermateriaalin ja sen kanssa kosketukseen tulevien rakennusmateriaalien välillä toteutuu em. suodatinkriteerio.

Jos tukipenger ja tiivistyssydän rakennetaan eri materiaaleista (kuvat 13 b ja c), on tukipengermateriaalin oltava paremmin vettä läpäisevää kuin tiivistyssydänmateriaalin. Karkearakeiset lajittuneet maalajit ja louhos sopivat parhaiten tukipenkereen rakentamiseen, koska ne täyttävät em. vedenläpäisevyysvaatimuksen ja koska niillä on yleensä suurempi kitkakulma kuin hienorakeisilla maalajeilla. Lisäksi em. maalajeista rakennettavan tukipenkereen päälle voidaan helpommin järjestää työnaikaiset kuljetustiet kuin moreenista ja hienorakeisista maalajeista rakennettavien padon osien päälle. Karkearakeisista maalajeista tai louhouksesta rakennetun ja huolellisesti tiivistetyn tukipenkereen painuminen tapahtuu yleensä suurimmaksi osaksi rakennustyön aikana. (Maapadon alla olevien pehmeiden maakerrosten painuminen on otettava erikseen huomioon.)

Tukipenkereeseen, suodattimiin ja tiivistyssydämeen käytettäviä materiaaleja valittaessa on kiinnitettävä suodatinkriteerion lisäksi huomiota siihen, että padon eri osien kimmoiset ominaisuudet (kokoonpuristuvuusmoduuli) tulevat mahdollisimman tarkoin samanlaisiksi. Jos tukipenger rakennetaan louhouksesta tai lajittuneista karkearakeisista maalajeista ja tiivistyssydän moreenista, em. vaatimus voidaan yleensä helposti täyttää riittävän tarkasti. Jos tukipenger rakennetaan karkearakeisista maalajeista ja tiivistyssydän hienorakeisista siltti- ja koheesiomaalajeista, ovat em. osien kimmoiset ominaisuudet erilaiset. Tämän vuoksi padossa saattaa esiintyä

epätasaisia painumia. Käytännössä on kuitenkin todettu, että maapadon tiivistyssydän voidaan rakentaa kuiva-kuorikerroksesta otetuista koheesio- ja siltimaalajeista ja tukipenger esim. sorasta, ainakin silloin, kun padon korkeus on pienempi kuin 15...20 metriä. Hienorakeisista maalajeista rakennettavan sydämen tiivistäminen on tällöin tehtävä erittäin huolellisesti.

Kuvan 13 b mukaisessa patotyypissä tukipenger (5) voidaan rakentaa joko louhoksesta tai lajittuneista kitkamaalajeista. Louhos tulee kysymykseen tukipenger materiaalina mm. silloin, kun sitä saadaan rakennuspaikan läheisyydessä louhittavista kalliioleikkauksista. Louhoksesta rakennettavan tukipenkereen luiskat voidaan yleensä suunnitella jyrkemmiksi kuin lajittuneista kitkamaalajeista rakennettavan tukipenkereen luiskat. Louhoksen avulla voidaan tämän vuoksi säästää varsinkin korkeissa maapadoissa merkittävästi rakennusmateriaaleja. Louhos soveltuu tukipenkereen rakentamiseen erityisesti kuvan 13 c mukaisessa patotyypissä, jossa tiivistyssydän on kalteva. Kun maapadon tukipenger rakennetaan louhoksesta, on tiivistyssydämen suunnitteluun kiinnitettävä erityistä huomiota, koska sydän muodostaa tällöin käytännöllisesti katsoen ainoan vettäpitävän osan. Louhoksesta rakennetun tukipenkereen ja tiivistyssydämen väliin joudutaan tavallisesti rakentamaan ainakin kaksi suodatinkerrosta.

Tukipenkereen rakentamiseen käytettävien lajittuneiden, karkearakeisten maalajien ja louhoksen tiivistäminen on yleensä helpompaa kuin ti-

vistyssydämen rakentamiseen käytettävien, hienoja lajitteita sisältävien maalajien tiivistäminen. Tämän vuoksi voidaan tukipenkereen rakennustyö suorittaa sääsuhteiden puolesta kosteampinakin vuoden aikoina kuin tiivistyssydämen rakentaminen, jos padon eri osien rakennustyö voidaan padon koon puolesta tehdä selvästi toisistaan erillisinä.

2.123 TIIVISTYSSYDÄN

Kuten edellä on mainittu, suunnitellaan maapato vyöhykepadoksi (kuvat 13 b ja c), jos sen rakentamiseen on käytettävissä useita rakeisuudeltaan ja vedenläpäisevyydeltään erilaisia maalajeja. Tiivistyssydän muodostaa tällöin padon vettäpitävän osan. Tiivistyssydämen asento ja paikka on valittava rakennuspaikan maaperäsuhteiden ja rakennusmateriaalien geoteknillisten ominaisuuksien ja niiden saantimahdollisuuksien perusteella. Tiivistyssydämen paikkaa ja asentoa suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin näkökohtiin (Arhippainen 1968):

- Pystysuoraan asentoon (kuva 13 b) rakennettu tiivistyssydän aiheuttaa suuremman paineen pohjaa vastaan kuin kaltevassa asennossa oleva tiivistyssydän (kuva 13 c). Pystyyn rakennetulla tiivistyssydämellä saavutetaan tämän vuoksi parempi vesitiiviys pohjan ja tiivistyssydämen rajapinnassa kuin kaltevilla tiivistyssydämellä.
- Samalla maamäärällä voidaan rakentaa paksumpi pystyasennossa

oleva tiivistyssydän kuin kalvea tiivistyssydän.

- Jos patoon tehdään kalvea tiivistyssydän, voidaan tukipenkereen ja tiivistyssydämen rakentaminen suorittaa eri aikoina. Lajittuneista karkearakeisista maalajeista tai louhoksesta tehtävää tukipengertä voidaan rakentaa silloinkin, kun sydämen rakentaminen sääsuhteiden puolesta ei ole mahdollista. Padon rakentaminen on mahdollista myös silloin, kun tiivistyssydämen alla olevan maapohjan tiivistämistyöt (esim. injektointi) ovat käynnissä.
- Kalvea tiivistyssydän voidaan yleensä suojata ohuemilla suodatinkerroksilla kuin pystyasennossa oleva sydän. Suodatin- ja verhoukerroksien on kuitenkin tällöin oltava niin paksuja, etteivät ne halkeile kuivumisen johdosta.
- Kalvean sydämen rakentaminen muodostuu hankalaksi, jos padon lopullista perustamissyvyyttä ei voida suunnitteluvaiheessa määrittää.
- Jos padon alla oleva pohjamaa tulee painumaan rakennustyön päättymisen jälkeen, on pysty tiivistyssydän onnistuneempi ratkaisu kuin kalvea tiivistyssydän, koska kalvea sydän saattaa murtua painumisen johdosta.

Tiivistyssydämen paksuus on määritettävä rakennusmateriaalin laadun, lähinnä vedenläpäisevyyden ja eroosiokestävyyden perusteella. Sydämen paksuuden on oltava tietyllä tasolla 30...50 % tällä tasolla vaikuttavasta vedenpaineesta. Jos sydämen rakenta-

miseen soveltuvia maalajeja on niukasti saatavissa, voidaan sydämen pak-suutta ohentaa 15...20 %:iin em. vedenpaineesta. Sydän on tällöin kuitenkin suojattava riittävän paksuilla suodatinkerroksilla ja sen tiivistäminen on tehtävä erittäin huolellisesti. Ohuita tiivistyssydämiä suunniteltaessa ja rakennettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota eri vyöhykkeiden (rakenteellisten osien) painumisominaisuuksiin. Jos ohut tiivistyssydän painuu enemmän kuin padon muut osat, saattaa painuminen (ns. holvautumisen johdosta) aiheuttaa tiivistyssydämeen padon turvallisuudelle haitallisia halkeamia.

Tiivistyssydämen rakentamiseen soveltuvat parhaiten moreenimaalajit, jotka sisältävät hienoainesta (< 0.074 mm) vähintään 15...20 % laskettuna siitä osasta, joka läpäisee 5.6 mm seulan. Tiivistyssydämen rakentamiseen voidaan käyttää myös savi- ja silttimaalajeja, jotka otetaan kuivakuo-rikerroksesta. Viimeksi mainittujen maalajien käyttäminen tulee kysymykseen lähinnä silloin, kun moreenimaalajeja ei ole saatavissa tai kun em. hienorakeisia maalajeja joudutaan kайvamaan ja siirtämään rakennuspaikan läheisyydessä muiden rakennustöiden yhteydessä. Tiivistyssydämen rakentamiseen käytettävien maalajien vedenläpäisevyys saa olla korkeintaan $k = 10^{-4} \dots 10^{-5}$ cm/s. Koheesio- ja siltti-maalajit ja sellaiset moreenimaalajit, joissa on hienoainesta vähintään em. määrä, täyttävät yleensä mainitun vedenläpäisevyysvaatimuksen. Tilapäisiksi rakenteiksi tarkoitetuissa työpadoissa joudutaan usein käyttämään sellai-

siakin materiaaleja, joiden vedenläpäisevyys on suurempi kuin $k = 10^{-4}$ cm/s. Tällöin on kuitenkin huomattava, että työkohteeseen padon lävitse suodatautuvat ja työkohteesta (pump-paamalla) poistettavat vesimäärät lisääntyvät.

Maapadon suunnitteluvaiheessa on selvitettävä tiivistyssydämen rakentamiseen käytettävien maalajien vedenläpäisevyyden lisäksi myös tiivistymis-, painumis- ja lujuusominaisuudet. Moreenimaalajeista rakennettaessa tiivistyssydän voidaan yleensä helposti tiivistää siten, että saavutetaan riittävä lujuus ja lisäksi siten, että sydämen painumisella ei ole sanottavaa käytännöllistä merkitystä. Koheesio- ja siltti-maalajeja käytettäessä on erityisesti selvitettävä lujuus- ja painumisominaisuudet rakennustyön aikana vallitsevan vesipitoisuuden ja sen tiiviyn mukaan, johon ne tullaan tiivistämään. Tarvittaessa on tehtävä kenttäkoe luonnollisessa mittakaavassa tiivistämiseen soveltuvan menetelmän selvittämiseksi. Tiivistyssydämen rakentamiseen käytettävien maalajien vesipitoisuuteen (maanottopaikoilla) on aina kiinnitettävä erityistä huomiota, koska hienorakeisia lajitteita sisältävät maalajit muuttuvat epäedullisissa sääolosuhteissa (sateiden aikana) helposti juokseviksi. Maansiirto- ja tiivistyskoneiden liikkuminen muodostuu usein täysin mahdottomaksi juoksevassa tai ylikosteassa tilassa olevien maakerrosten päällä. Tiivistyssydänmateriaalin optimivesipitoisuus ja plastiset ominaisuudet on selvitettävä jo suunnittelutyön alkuvaiheessa. Em. tiedot on yksityiskohtaisesti esitettävä

suunnitelman asiakirjoissa niin, että rakentaja voi työsuunnitelmaa laatiessaan määrittää olosuhteisiin sopivat työmenetelmät, työmaateiden paikat, maanottopaikkojen työnaikaiset kuivastustoimenpiteet ja muut rakennustyön järjestelyyn liittyvät yksityiskohdat. Jos rakentamiseen käytettävien materiaalien vesipitoisuus on maanottopaikoilla lähellä optimivesipitoisuutta tai on sitä suurempi, on hyvissä ajoissa ennen arkennustyön aloittamista huolehdittava maanottopaikkojen ojittamisesta tai rakennusmateriaalien kuivattamiseen liittyvistä muista toimenpiteistä.

2.124 SUODATINMATERIAALIT

Maapatoon rakennetaan suodattimia mm. luiskien, tiivistyssydämen ja sala-ojien suojaksi (kuva 13). Suodattimien tehtävänä on mm. sisäisen eroosion ehkäiseminen suojattavassa rakennusosassa. Suodattimet alentavat lisäksi padon vakavuudelle epäedullisia huokosveden paineita.

Suodatinmateriaalina käytetään tavallisesti kitkamaalajeja (hietaa, hiekkaa, soraa ja murskattua kiviainesta). Suodatinmateriaalien käyttökelpoisuus määritetään suojattavan rakenneosan materiaalin rakeisuuskäyrän ja suodatinmateriaalin rakeisuuskäyrän perusteella. Eräiden uusimpien tutkimusten mukaan (Zweck 1959) suodatinta mitoitettaessa on rakeisuuden lisäksi kiinnitettävä huomiota myös suodattimen lävitse virtaavan veden suuntaan ja gradienttiin sekä suojattavan materiaalin ja suodatinmateriaalin ra-

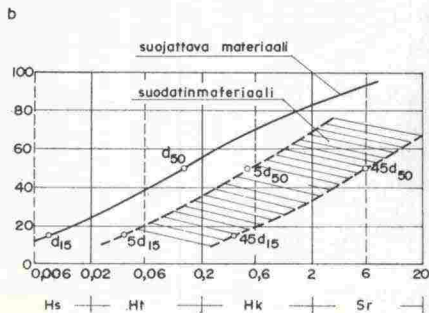
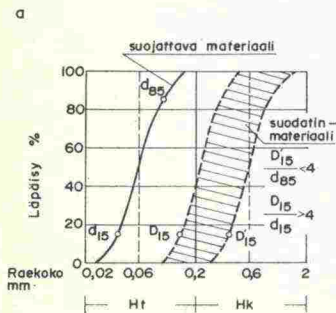
keiden absoluuttiseen kokoon. Varsinkin sellaisissa hienorakeisissa maalajeissa, joiden leikkauslujuus muodostuu pääasiallisesti koheesiosta, eivät toisiinsa kiinteästi sitoutuneet rakeet pääse liikkumaan suotovesivirtauksen mukana erillisinä rakeina. Ns. suodatinkriteeriot eivät tämän vuoksi ole sellaisenaan voimassa em. maalajeissa. Suodatinkriteeriot soveltuvat lähinnä kitkamaalajeista rakennettavien suodattimien mitoittamiseen.

Kuvassa 16 a on esitetty Terzaghin (Terzaghi—Peck 1961) kehittämä suodatinkriteerio, joka soveltuu lähinnä lajittuneista kitkamaalajeista rakennettavien suodattimien mitoittamiseen. Kuvassa 16 b on esitetty lajittumattomista maalajeista rakennettavan suodattimen mitoittamiseen soveltuva menetelmä (Kjærnsli 1960).

Kuvassa 16 esitettyjen vaatimusten lisäksi on suodattimen rakentamiseen käytettävän materiaalin täytettävä seuraavat ehdot:

- Suodatinmateriaalin ja suojattavan materiaalin rakeisuuskäyrien on oltava likipitään samanmuotoisia.
- Jos suojattava materiaali sisältää runsaasti soraa tai sitä karkeampia maalajeja, on suodatin rakennettava suojattavan materiaalin rakeisuuskäyrän sen osan perusteella, jossa rakeisuus on pienempi kuin 25 mm.
- Suodatinmateriaali ei saa sisältää 5 % enempää hienoainesta (< 0.074 mm). Mahdollinen hienoaines ei saa olla koheesiomaalajia.
- Suodatinmateriaalin vedenläpäisevyyden on oltava noin 10 kertaa niin suuri kuin suojattavan materiaalin vedenläpäisevyys.
- Suodatinmateriaalissa ei saa olla 2...3 % enempää humusta.

Suodatinkriteerioitten edellyttämällä tavalla toisiinsa sopeutuvia maalajeja ei ole aina saatavissa. Edellä luetel-



Kuva 16:
Suodatinkriteeriot.

tuja ja kuvassa 16 esitettyjä suodatin-kriteeriota on tällöin sovellettava olo-suhteiden määräämällä tavalla. Var-sinkin moreenimaalajit kestävät yleensä hyvin sisäistä eroosiota ja ne muodostuvat suotovirtauksen tai aallokon ja pintavesieroosion johdosta luon-nollisiksi suodattimiksi. Tämän vuoksi moreeneista ja myös koheesiomaalajeista rakennettavien osien suojaamiseen voidaan käyttää sellaisiakin maalajeja, jotka eivät täytä kaikkia suodatinkriteeriota. Suodattimet on yleensä suunniteltava sitä paksummiksi, mitä enemmän niiden rakeisuus poikkeaa suodatinkriteerioitten edellyttämästä rakeisuudesta.

Maapadon rakenteen ja koon mukaan suodatinkerrokset tiivistetään joko samanaikaisesti tiivistyssydämen ja tukipenkereen kanssa tai erillisinä. Suodattimen tiivistäminen voidaan yleensä suorittaa kaikilla maarakennustyössä käytössä olevilla tiivistämiskoneilla. Suodattimien rakentamiseen, tiivistäminen mukaan luettuna, käytettävät työmenetelmät ja -koneet on pyrittävä ottamaan huomioon suodatinkerrosten paksuutta suunniteltaessa. Lisäksi on otettava huomioon suodattimien ja myös muiden osien rakentamiseen soveltuvien materiaalien saantimahdollisuudet.

Kaltevien pintojen (luiskien) päälle rakennettavat suodatinkerrokset, jotka tiivistetään usein erillisenä työnä luiskan päällä liikkuvien koneiden avulla, voidaan suunnitella verrattain ohuiksi. Suodattimen paksuuden on oltava tällöinkin niin suuri, että se täyttää toiminnallisesti tehtävänsä. Pystyasentoon rakennettua tiivistyssydäntä suo-

jaavat suodattimet (kuva 15) tiivistetään yleensä samanaikaisesti tiivistyssydänmateriaalin ja tukipenkereen kanssa. Suodatinkerrosten pienin paksuus on tällöin 50...70 cm, koska ohuempien kerrosten rakentaminen muodostuu hankalaksi.

2.13 VERHOUSMATERIAALIT

Verhusten suunnittelua on käsitelty myös osassa IV, kohta 3.22.

Verhouksia rakennetaan maaleikkausten ja maapatojen luiskien suo-jaksi. Verhusten tarkoituksena on mm. virtaavan ja aaltoilevan pintaveden tai pohjaveden johdosta muodostuvien eroosioaurioiden ehkäiseminen. Tarkoituksenmukaisesti rakennettu verhouk lisää luiskan vakavuutta liukumalla ja juoksemalla tapahtuvia sortumia vastaan. Verhousmateriaalit on pyrittävä valitsemaan siten, että suojattavan maalajin ja verhusten rakentamiseen käytettävien maalajien välillä toteutuvat edellisessä luvussa mainitut suodatinkriteeriot. Verhouk-siin käytettävät materiaalit on lisäksi valittava siten, että ne kestävät virtaavan veden syövyttävän ja kuluttavan vaikutuksen ja edelleen siten, ettei verhouk pääse liikkumaan siihen kohdistuvien kuormitusten (virtaus-paine, aallokko yms.) johdosta.

Virtaavan ja aaltoilevan veden kanssa välittömästi kosketukseen joutuvat luiskat suojataan tavallisesti kitkamaalajeista ja louhoksesta tai sepeleistä rakennettavilla verhouksilla. Tieleikkausten jms. luiskien suojaamiseen, jotka eivät tule kosketukseen avoveden kanssa, käytetään edellisten li-

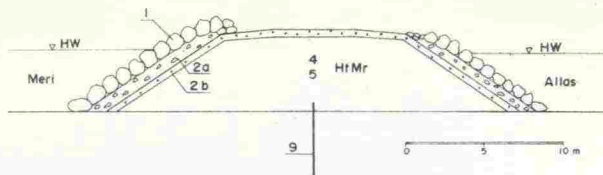
säksi myös turvelevyistä rakennettuja verhouksia sekä luiskan pintaan leviettyyn humusmaahan istutettuja pensaita yms. sadeveden aiheuttaman eroosion ehkäisemiseksi. Jos em. maa-lajeja ei ole saatavissa, voidaan ver-hous rakentaa myös betonista, asfal-tista yms. tekoaineista. Teiden luiskien, keilojen, keskikaistan, liikenteenjakajien ym. verhousten rakenta-mista varten on esitetty yksityiskoh-taiset ohjeet tie- ja vesirakennuslaitok-sen tienrakennustöiden yleisessä työ-selityksessä. Verhoukset on yleensä pyrittävä suunnittelemaan siten, että niiden rakentamiseen käytettävät ma-teriaalit saadaan työkohteen läheisyy-destä, koska verhousten rakennuskus-tannukset muodostuvat pääasiallisesti materiaalien kuljetuskustannuksista.

Verhousten kestävyydelle ja ver-housmateriaaleille asetettavat vaati-mukset vaihtelevat siinä määrin suo-jattavan luiskan maalajin ja rakenteen tarkoituksen mukaan, että ne on suunniteltava tapaus tapaukselta. Suun-nitelmaa laadittaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota verhouksiin koh-distuvien kuormitusten vaikutusta-paan.

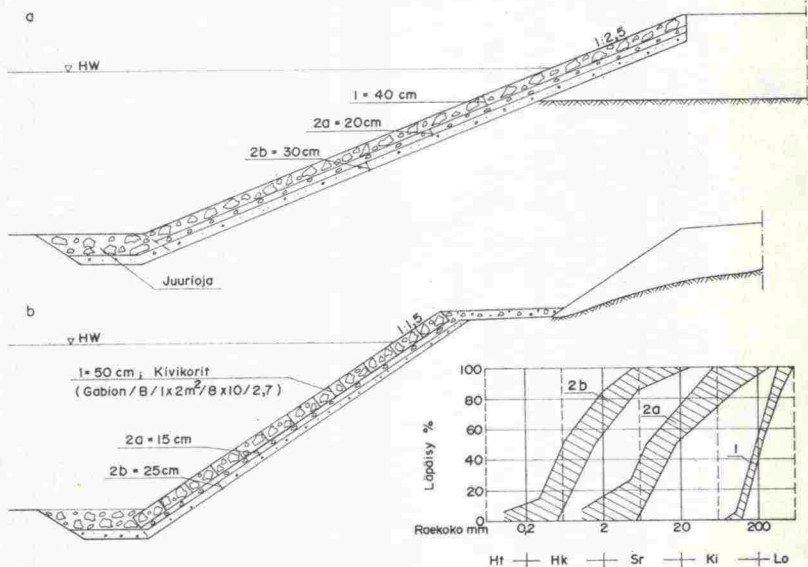
Kuvissa 17...21 on esitetty eräitä maa- ja vesirakennustöissä käytettyjä verhouksmenetelmiä. Kuvissa 17...20 olevat verhouksmenetelmät tulevat ky-symykseen lähinnä silloin, kun suoja-tun luiskan on jatkuvasti säilytettävä suunnitelman edellyttämä muoto. Nä-mä verhoukset ovat yleensä liian kal-liita sellaisiin vesiväyliin, joissa pie-nehköjen sortumien johdosta esiinty-vällä poikkileikkauksen muodon muut-tumisella ei ole merkittävää vaikutus-

ta. Kuvassa 21 esitetyt verhouksmene-telmät ovat rakennuskustannuksiltaan huomattavasti halvempia kuin kuvissa 17...20 esitetyt menetelmät. Näitä verhouksia voidaan käyttää mm. sel-laisissa vesiväylissä, joiden luiskat tu-lisivat syöpymään väylässä virtaavan veden johdosta niin paljon, että syö-pyminen aiheuttaisi haittaa väylän toiminnalle tai että syöpyminen joh-taisi suurempiin ja vaikeammin kor-jattaviin sortumiin. Kuvan 21 mukai-set verhouksmenetelmät tulevat siis kysymykseen lähinnä silloin, kun kai-vetun väylän poikkileikkauksen muo-to saa muuttua, kunnes se saavuttaa luonnollista tasapainotilaa vastaavan muodon.

Kuvassa 17 on esitetty Kuljunlah-den makeavesialtaan maapadon poik-kileikkaus. Pato erottaa altaan Poh-janlahdesta (Koivula 1964). Maapa-toon kohdistuu ajoittain voimakas aallokko. Tämän vuoksi on luiskat suojattu meren puolella yli kuutio-metrin suuruisilla lohkarilla, jotka on asetettu sorasta ja läpimitaltaan 30...300 mm suuruisista lohkarista rakennettujen suodatinkerrosten pääl-le. Kuvassa 18 a on Saimaan kanavan rakennustyössä käytetty luiskien ver-houksyyppi ja verhouksen eri mate-riaalien rakeisuusalueet. Tämän ver-houksen kustannukset ovat niin suu-ret, että se tulee kysymykseen lähin-nä vain vesiliikennettä varten raken-nettavissa kanavissa. Luiskien suoja-miseen rakennettavia verhouksia suun-niteltaessa on tällöin otettava huo-mioon myös laivaliikenteen aiheutta-mat virtaukset ja pyörteet. Jyrkkien luiskien (1:1.5) suojaamiseen on mm.



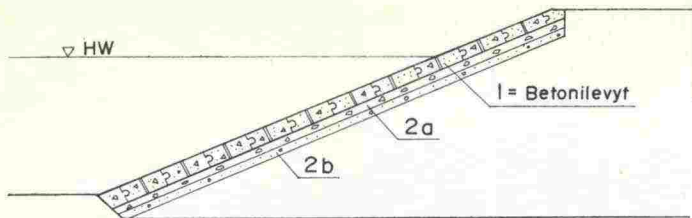
Kuva 17:
Kuljunlahden makeavesialtaan maapato (Koivula 1964).



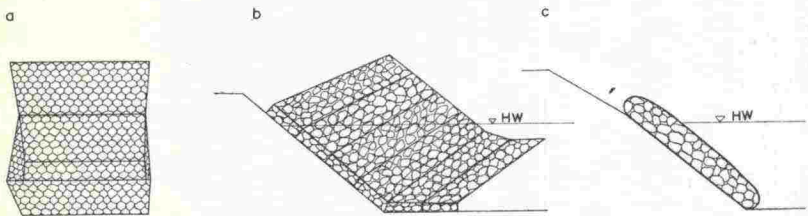
Kuva 18:
Saimaan kanavan rakennustyössä käytettyjä verhouksia.

Saimaan kanavan rakennustyössä käytetty kuvan 18 b ja 20 a mukaisia kivikoreja. Tämä verhousmenetelmä on kalliimpi kuin tavanomaiset suodatin- ja heitokeverhoukset. Menetelmää on käytetty myös tieluiskien suoja-

miseen. Kivikoreilla voidaan korvata luiskien suojaksi rakennettava tukimuuri, jos sopivaa materiaalia on helposti saatavissa. Kuvassa 19 on esitetty betonilevyistä rakennettu verhous, joka tulee kysymykseen lähinnä



Kuva 19:
Betoniilevyistä rakennettu verhous.



Kuva 20:
a. kivikori, b. kivimatto, c. kivisäkki.

a. Turveverhous

b. Pensasverhous

c. Kiviverhous



Kuva 21:
Pienekkojen vesiväylien suojaamiseen käytettyjä verhouksia.

silloin, kun verhouksen rakentamiseen soveltuvia kiviä ja lohkaraita ei ole saatavissa.

Kuvassa 21 on esitetty eräitä pienekkojen vesiväylien luiskien suojaamiseen käytettyjä verhouksmenetelmiä. Näiden verhousten rakennussuunnitelma laaditaan käytännössä usein työn suorituksen yhteydessä ja niitä raken-

netaan vain sellaisiin kohtiin, joissa luiskan suojaaminen on osoittautunut havaintojen mukaan tarpeelliseksi. Kuvien 21 a ja b mukaiset kevyet verhoukset ovat usein vain tilapäisiä rakenteita, sillä ne tulevat tarpeettomiksi sen jälkeen, kun väylän luiskat ovat vähitellen asettuneet luonnolliseen tasapainoasemaansa.

2.2 Päälysrakenneaineokset

Tie- ja vesirakennushallituksen käytämässä päälysrakenteen mitoitusmenetelmässä otetaan mitoitukseen vaikuttavina tekijöinä huomioon tietä käyttämään tulevan liikenteen määrä ja paino, alusrakenteen laatu sekä eri päälysrakennekerrosten kantavuus- ja muut ominaisuudet. Päälysrakenne voi muodostua yläosasta ja alaosasta. Alaosaan saattaa kuulua eristys- ja jakava kerros sekä siirtymäkiila ja yläosaan kantava kerros sekä päälyste. Alaosa tasaa alusrakenteen laatu- vaihtelut ja muodostaa yläosalle kantavan, oikeanmuotoisen ja tasalaatuisen alustan. Alaosan paksuus ja rakenne voi tietyllä tienosalla vaihdella varsin huomattavasti alusrakenteen kantavuus- ja routivuusvaihtelujen johdosta. Yläosan tehtävänä on muodostaa liikenteen kannalta tarkoituksenmukainen ja kantava pinta. Yläosan rakenne ja paksuus ovat tietyllä tienosalla yleensä samat.

Kullakin päälysrakennekerroksella on oma tarkoituksensa ja tehtävänsä, joitten perusteella määrätään eri kerrosmateriaaleille asetettavat vaatimukset. Mitoitusmenetelmässä edellytetään, että eri kerrosmateriaalit täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset. Jos materiaaleissa ilmenee laatuheikkouksia, saattavat päälysrakenteen kantavuus- ja muut ominaisuudet jäädä tarkoitettua huonommiksi. Kun eri kerrokset tehdään määräpaksuiksi ja kun kerrospaksuuden lisääminen saattaa edellyttää muutosta vahvistettuun suunnitelmaan, ei kerrosmateriaalin

laatuheikkouksien takia kantavuuden tai muiden ominaisuuksien parantamiseksi tehtävä kerroskorkeuden lisääminen ole yleensä edullisesti ja vaikeuksitta toteutettavissa. Päälysrakennekerrosten laadulla on varsin merkittävä vaikutus tien käyttökelpoisuuteen. Virheellisten kohtien kunnossapito ja korjaus on kallista. Näistä syistä on tärkeää, että kerrosmateriaalien valintaan ja niitten työnaikaiseen tarkkailuun kiinnitetään laatuksymyksissä riittävästi huomiota.

Tien routimisvauriot aiheuttavat runsaasti kalliita kunnossapitotoimenpiteitä. Maalajia pidetään routimattomana, mikäli sen kapillaarisuus on alle 1.0 m. Kaikkien päälysrakenteeseen käytettävien materiaalien (lukuunottamatta saviorakuluskerrosta) on oltava routimatonta ainesta. Eristyskerrokselle asetetaan yllämainittua tiukempi kapillaarisuusvaatimus.

Vaaditun laatutason ylläpitäminen voi kuitenkin paikallisista oloista riippuen johtaa korkeisiin kustannuksiin. Tiesuunnitelmaa laadittaessa selvitetään päälysrakenneainesten tarve ja saanti. Mikäli ilmenee, että kaikki laatuvaatimukset täyttävän aineksen hankinta johtaa kohtuuttomiin kustannuksiin, voidaan heikkolaatuisenkin aineksen käyttöä harkita varsinkin alemman luokan teitten osalta. Tällöin laatuheikkoudet on otettava huomioon paksuntamalla rakennetta tai muulla tarkoituksenmukaisella tavalla. Tällaisen vaatimukset täyttävä

mättömän materiaalin käyttöön on aina hankittava lupa tvh:n maatumistustoittoimistolta.

Eräillä alueilla ei ole kohtuullisten kuljetusetäisyyksien puitteissa hankittavissa eristyskerrokseen sopivaa hiekkaa tai jakavaan kerrokseen kelpavaa soraa. Tällöin tulee kysymykseen saatavana olevan materiaalin jalostaminen vaatimusten mukaiseksi seulontaa tai murskausta käyttäen. Mikäli tielinjalla on runsaasti kallioita, saattaa olla edullista korvata eristys- ja jakava kerros louhospenkereellä, jonka pintaosa tiivistetään pienilohka-reisellä louheella sekä soralla, murskeella taikka sepelillä.

Sidottuihin kerroksiin käytettäville aineksille asetetaan tiukemmat laatuvaatimukset kuin sitomattomiin kerroksiin käytettäville. Niiden materiaalin hankintaa helpottaa kuitenkin mm. se, että ainekset joudutaan yleensä aina jalostamaan murskauksella ja seulonnalla, joiden avulla rakeisuus saadaan vaatimusten mukaiseksi. Kun lisäksi erilaisten sidottujen kerrosten määrä on varsin huomattava ja ainesten laatuvaatimukset ovat toisistaan poikkeavia, löytyy yleensä aina sellainen rakennevaihtoehto, jota käyttäen materiaalin hankinta muodostuu kustannuksiltaan kohtuulliseksi.

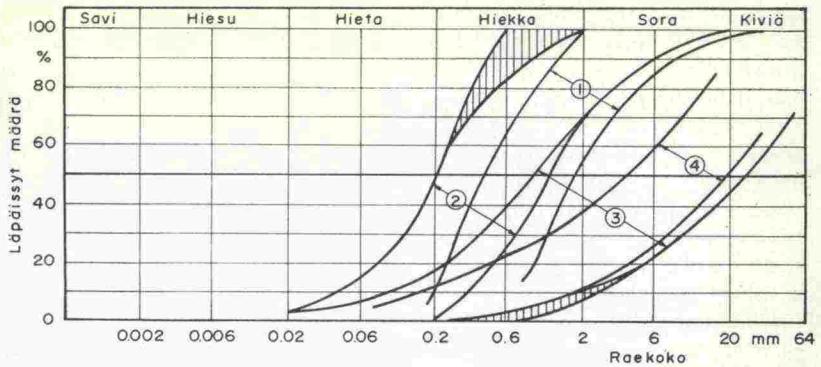
2.21 ERISTYSKERROS

Eristyskerros tehdään päällysrakenteeseen, joka rakennetaan D-, E- ja F-luokan alusrakenteelle (hieta ja sitä hienommat maalajit sekä kaikki routivat maalajit ja pehmeikkö). Eristyskerroksen tehtävänä on katkaista ka-

pillaarinen vedennousu päällysrakenteeseen, estää alus- ja päällysrakenteeseen kuuluvien ainesten sekoittuminen, lisätä rakenteen kantavuutta sekä ehkäistä ja vähentää alusrakenteen routimisesta tien pintaan muodostuvia epätasaisuuksia ja halkeamia. Eristyskerroksen materiaalina käytetään luonnonainesta, jonka rakeisuutta koskevat ohjeet ovat kuvassa 22. Tämä materiaali ei saa sisältää 50 mm suurempia kiviä. Sen kapillaarisuuden on oltava pienempi kuin 90 cm. Sorakulutuskerroksella varustettavan tien eristyskerrokseen käytettävän materiaalin kapillaarisuuden tulee lisäksi olla pienempi kuin eristyskerroksen paksuus.

Mikäli on kysymys hienojakoiselle alusrakenteelle tehtävästä eristyskerroksesta ja käytettävissä oleva eristys-hiekka on karkeahkoa, tulee alusrakenteelle tehdä ennen varsinaisen eristyskerroksen tekemistä ns. suodatinkerros, jonka tehtävänä on estää alusrakennemateriaalin tunkeutuminen ylöspäin. Suodatinkerrosmateriaalin rakeisuusohjealue on kuvassa 22. Myös tätä materiaalia koskee edellä mainittu 90 cm kapillaarisuusvaatimus ja se, ettei aineksessa saa olla yli 50 mm kiviä. Hienointa sallittua suodatin-hiekkaa ei saa käyttää karkeimman sallitun jakavan kerroksen alla.

Jotta suodatinkerros lisäisi mahdollisimman tehokkaasti päällysrakenteen kantavuutta ja jotta sitä käyttäen aikaansaadaan työmaaliikenteen kannalta riittävän kestävä pinta, tulee siihen käytettävän aineksen olla mahdollisimman hyvin tiivistettävää. Tästä syystä aineksen raekokosuhteen d_{60}/d_{10}



Kuva 22:

Sitomattomien päällysrakennekerrosten rakeisuusvaatimukset.

1. eristyskerros.
2. suodatinkerros.
3. jakava kerros.
4. kantava kerros sorasta tai murskesorasta.

Hienointa suodatinhiekkää ei saa käyttää karkeimman jakavan kerroksen alla (viivoitetut alueet).

tulisi olla korkea, mieluummin yli 7. Aineksessa ei saa olla humusta eikä muita epäpuhtauksia. Eristyskerrosainekselle ei aseteta lujuusvaatimuksia.

2.22 JAKAVA KERROS

Jakava kerros tehdään päällysrakenteeseen, joka rakennetaan C-, D-, E- ja F-luokan alusrakenteelle. Sen tehtävänä on lisätä tien kantavuutta, muodostaa oikeanmuotoinen alusta päällysrakenteen yläosalle sekä vähentää alusrakenteen routimisesta aiheutuvia haittoja. Jakavan kerroksen materiaalina käytetään yleensä luonnonkiviainesta, jonka rakeisuusohjealue on kuvassa 22. Suurin kiviä saa olla enintään puolet tiivistettävän kerroksen paksuudesta, mutta kuitenkin

enintään 150 mm. Jakavan kerroksen materiaali on väljä, mikäli ylisuurten kiviä määrä ≤ 5 paino-%. Jakavan kerroksen materiaalille ei aseteta lujuusvaatimuksia.

Hyvin tiivistyvät ainekset ovat kantavuuden kannalta edullisempia kuin huonosti tiivistyvät. Tämän vuoksi aineksen rakeisuusikäyrän tulee olla rakeisuusohjealueen rajakäyrien suuntainen. Raekokosuhteen d_{60}/d_{10} tulee olla vähintään 12, mutta mieluummin suurempi kuin 15. Valmiissa rakenteessa esiintyvät rakeisuuserot aiheuttavat kantavuusvaihteluja. Valmiin kerroksen on oltava tämän vuoksi rakeisuudeltaan mahdollisimman tasa-laatuinen.

Jakava kerros voidaan myös tehdä sepelistä, karkeasta murskeesta ja louhoskivistä. Murskeen tulee täyttää ku-

vassa 22 esitetyt rakeisuusvaatimukset. Jakavan kerroksen tekeminen louheesta tulee kysymykseen yleensä silloin, kun myös tiepenkereeseen on käytetty louhosta. Tällöin on louhospenkereen pintaosa tasattava pienillä louhoskivillä (≤ 200 mm). Tämän jälkeen pengeri on tiivistettävä huolellisesti jakavan kerroksen yläpinnan tasoon soralla, murskeella tai muulla tarkoituksenmukaisella aineksella, jonka suurin raekoko saa olla enintään 64 mm.

Kun on kysymys korkealuokkaisesta moottoritiestä tai I luokan tiestä, ja on tarkoitus käyttää jakavaan kerrokseen jatkuvan rakeisuuskäyrän omaavaa luonnonainesta tai murskattua ainesta, materiaali on yleensä pyrittävä saamaan rakeisuudeltaan sellaiseksi, että se täyttää sorasta valmistettavan kantavan kerroksen rakeisuusvaatimukset. Tällöin luonnonaineksen rakeisuuskäyrän muodossa tai rakeisuuden hajonnassa esiintyviä puutteita on tarvittaessa parannettava murskaus- ja seulontatöiden pitein tai sekoittamalla perusainekseen sopivaa lisäainesta. Murskesoraa käytettäessä murskatun aineksen määrä on pyrittävä saamaan mahdollisimman korkeaksi.

2.23 KANTAVA KERROS

Kantavan kerroksen päätehtävänä on lisätä päällysrakenteen kantavuutta. Jos kantava kerros tehdään sidotusta kerroksesta, tai milloin yleensä on odotettavissa, että tiehen tulee muodostumaan painumia, on tarkoituksenmukaista, että tietä pidetään

ennen varsinaisen päällysteen tekemistä liikenteellä yhden tai useamman vuoden ajan. Painumat tasataan samalla kun tehdään varsinainen päällyste. Kantavan kerroksen rakenteen ja siihen käytettävien materiaalien valinnassa on otettava huomioon yllä mainittu mahdollinen liikennöiminen. Myös sillä seikalla on vaikutuksensa rakenteen ja materiaalin valintaan, minkälainen päällyste kantavan kerroksen päälle rakennetaan, tai milloin on kysymys useampikerroksisesta kantavasta kerroksesta, millainen muu rakenne ko. kerroksen päälle tulee.

Kantava kerros voidaan tehdä yhdestä tai useammasta osakerroksesta. Yksiosaisia kantavia kerroksia tehdään tavallisimmin vain alemman luokan teiden päällysrakenteeseen. Kantavat kerrokset voivat olla sidottuja tai sitomattomia. Tavallisimmin alin kantavan kerroksen osa tehdään sitomattomasta materiaalista. Kantava kerros voidaan myös rakentaa kokonaan sidotuista kerroksista. Sitomaton kantava kerros voidaan tehdä sorasta, murskesorasta, kalliomurskeesta, tärysepellyksestä tai vastaavasta. Sidotun kantavan kerroksen rakenteena käytetään asfalttiasemalla valmistettavaa kuumasekoitteista bitumisoraa tai bitumihiekkaa, imeytysmenetelmällä sidottavaa sepellystä, asemasekoitteista tai paikalla sekoitettua maabetonia sekä sementtilaastilla sidottua sepellystä. Kaikille yllämainituille rakenteille ja niiden raaka-aineille asetetaan omat laatuvaatimukset.

Jos sidottua kantavaa kerrosta tul- laan käyttämään kulutuspin- tana, sen tulee olla mahdollisimman hyvin lii-

kenteen aiheuttamaa kulutusta kestävä. Kun sitomattomalle kantavalle kerrokselle tehdään sekoitusmenetelmällä päällyste tai sidottu kantava kerros, tulee alustana olevan kantavan kerroksen osan olla kiinteä, karkeahko ja avoin. Jos taas sorasta tehdyille kantavalle kerrokselle rakennetaan sorakulutuseros, tulee kantavan kerroksen olla mahdollisimman tiivis, jottei savorakulutuseroksesta kosteus haihtuisi liian nopeasti ja jottei siten aiheutuisi kunnossapitovaikeuksia.

Kerroksen kantavuuteen vaikuttavat kiviaineksen ominaisuudet ovat murskatun aineksen määrä, maksimirakoko ja se, miten tiiviiksi materiaali voidaan sulloa. Tämä koskee kaikkia sitomattomia sekä bitumisilla sideaineilla sidottuja kerroksia. Sementillä sidottujen kerrosten kantavuus on rakenteen jäykkyyden johdosta yleensä aina riittävä. Erilaisten kantavien kerrosten osalta on useissa tutkimuksissa pyritty selvittämään, mitkä ovat kantavuuden kannalta samantarvoiset kerrospaksuudet. Erään saksalaisen tutkimuksen mukaan 1 cm murskatusta kiviaineksestä valmistettua, bitumilla sidottua kantavaa kerrosta vastaa 1.25 cm luonnonkiviaineksestä valmistettua, bitumilla sidottua kerrosta sekä 2 cm sitomattomaa, murskesorasta tai tärysepellyksestä tehtyä kerrosta.

2.231 SITOMATTOMAT KANTAVAT KERROKSET

Sorasta valmistettavaa kantavaa kerrosta saadaan käyttää vain päällysrakenteella 6 tai sitä alemman luokan

päällysrakenteella varustettavan tien kantavaksi kerrokseksi. Soran rakeisuuskäyrän tulee olla kuvassa 22 esitettyllä rakeisuusohjealueella ja sen rajakäyrien suuntainen. Sen suurimman raekoon tulee olla 35...65 mm mutta ei kuitenkaan suurempi kuin puolet tiivistettävän kerroksen paksuudesta. Materiaalin tulee olla rakeisuudeltaan tasalaatuista. Mikäli siinä on ylisuuria kiviä tai ylimäärin jotakin välilajitetta, ne on poistettava välppäämällä tai seulomalla siten, että rakeisuuskäyrä saadaan ohjealueen mukaiseksi. Vastaavasti, jos luonnonsorasta puuttuu tiettyä lajitetta, rakeisuus on sopivaa lisäainesta sekoittaen saatettava ohjeitten mukaiseksi. Kylmäsekoitteisten päällysteiden, öljysoran ja bitumiliuosoran lujuus on lämpimillä säillä varsin huono. Jos luonnonsorasta tehdyille kantavalle kerrokselle on tarkoitus tehdä kylmäsekoitteinen päällyste, kantavan kerroksen pintaosa on epätasaisuuksien välttämiseksi tehtävä vähintään 5 cm paksusta murskesora- tai murskekerroksesta. Tämän aineksen suurimman raekoon tulee olla 18...25 mm. Luonnonsorasta tehtävän kantavan kerroksen ainekselle ei aseteta lujusvaatimuksia. Sora ei kuitenkaan saa sisältää humusta eikä muita epäpuhtauksia.

Murskesorasta ja murskeesta tehtävän kantavan kerroksen kiviaineksen tulee täyttää samat rakeisuutta ja suurinta raekokoa koskevat vaatimukset kuin yllä on mainittu luonnonsoran osalta. On suotavaa, että näitten materiaalien Los Angeles-luku on keskimäärin enintään 40 ja haurausarvo

enintään 70. Murskesoran tulee sisältää mahdollisimman runsaasti murskattua ainesta. Se saa sisältää yleensä enintään 60 paino-% kokonaan murskaantumattomia rakeita laskettuna 8 mm suurempien rakeitten painosta. Kiviaineksessa ei saa olla epäpuhtauksia ja sen tulee olla rapautumatonta. Murskaustyö, erikoisesti raaka-aineen kuormaus murskauslaitokseen, sekä valmiin murskesoran tai murskeen kuljetus ja varastointi on suoritettava siten, että valmis tuote on rakeisuudeltaan tasalaatuista ja ettei siinä ilmene erottumista. Murskaustyön aikana on tehtävä yksi rakeisuusmäärittys 200...500 m³ valmiin tuotteen erää kohti. Näiden tulosten perusteella on tarkkailtava tuotteen rakeisuutta ja tehtävä mahdollisesti tarvittavat muutokset raaka-aineen syöttöön ja koneistojen säätöön. Murskesoran ja murskeen valmistuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, ettei materiaaliin muodostu liiaksi hienoainesta (≤ 0.074 mm). Jos hienoainemäärä on liian korkea, kantavan kerroksen pinnasta muodostuu liian tiivis ja sileä. Tällaiselle alustalle levitetty asfalttimassa liukuu liiaksi jyräyksen aikana, ja siihen muodostuu halkeamia. Liian hienoainespitoiselle kantavalle kerrokselle on myös ominaista, että se sitoo runsaasti vettä ja pehmenee sekä menettää kantavuuttaan talvikauden toistuvan jäätyämisen ja sulamisen johdosta. Myös tästä saattaa aiheutua halkeamia päällysteseen. Jotta aines kuitenkin on helposti tiivistettävää ja sitovaa, siinä on oltava vähintään 2 paino-% 0.074 mm läpäisevää ainesta. Jos sorasta tai

murskesorasta tehty kantava kerros joutuu olemaan pitkäähkön ajan yleisellä liikenteellä ennen sidotun kerroksen tekemistä, saattaa olla edullista, että kunnossapidon helpottamiseksi sen pintaosaan tehdään n. 5 cm paksu kerros sellaisesta murskesorasta tai murskeesta, jonka maksimiraekoko on 18...25 mm. Tällöin kerroksen kunnossapito sekä välittömästi ennen päällysteen levittämistä tapahtuva uusi tasaus- ja tiivistäminen helpottuu.

Tärysepelys tehdään karkeasta sepelistä, joka tiivistetään hienorakeisella luonnonaineksella tai murskeella. Karkean sepelin rakeisuuden alaraja on 25...35 mm ja yläraja 55...75 mm. Suurin raekoko saa kuitenkin olla enintään 2/3 kerrospaksuudesta. Sepelin asemesta voidaan käyttää sorasepeliä. Se saa sisältää yleensä enintään 20 paino-% murskaantumattomia rakeita. Sepelin Los Angeles-luku saa olla keskimäärin enintään 35, haurausarvo keskimäärin enintään 60 ja muotoarvot c/a ja b/a keskimäärin enintään 3.0 ja 1.6. Tiivistysmateriaalin maksimiraekoko on 4...8 mm. Siinä ei saa olla sanottavasti 0.5 mm seulan läpäisevää ainesta. Jos tiivistysmateriaalissa on runsaasti hienoainesta, se voi sitoa itseensä liiaksi vettä. Tästä saattaa aiheutua kerroksen kantavuuden vähenemistä. Tärysepelykseen käytettävien kiviainesten tulee olla rapautumattomia eivätkä ne saa sisältää epäpuhtauksia.

2.232 SIDOTUT KANTAVAT KERROKSET

Raemuodon ja lujuuden perusteella kiviainekset jaetaan kolmeen luok-

Taulukko 5. Kiviainesluokitus.

Luokka	Muotoarvo	Los Angeles-luku	Haurausarvo
I	≤ 2.6/1.4	≤ 25	(≤ 50)
II	≤ 2.8/1.5	≤ 30	(≤ 55)
III	≤ 3.0/1.6	≤ 35	(≤ 60)

Taulukko 6. Bitumisoran kiviaineksen rakeisuuden yläraja.

Massamäärä (kg/m ³)	Kerros-paksuus noin (mm)	Kiviaineksen suurin nimel- lisraekoko (mm)
100	40	25
120	50	30
150	60	35
175	70	40
200	80	40

kaan .Luokka määräytyy yleensä koetulosten perusteella. Mikäli koetulos sattuu luokkien väliselle rajalle, on määrittäminen uusittava. Kiviainesluokitus on esitetty taulukossa 5.

Haurausarvo on täydentävä määrittäminen, joka tehdään vain esim. tutkittaessa rajatapauksia, kun kiviaineksen valinnalla on suuri taloudellinen merkitys.

Kiviainesseoksen suurimmalla nimellisraekolla tarkoitetaan tässä sitä neliömäisen seulan aukkoa, jonka 95 % aineksesta läpäisee.

Bitumisoraa (BS)

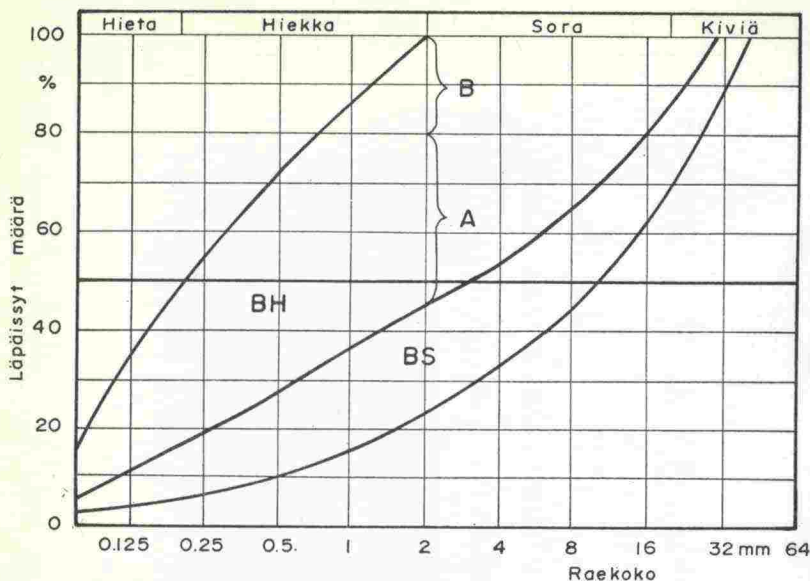
Bitumisoraa käytetään päällysrakenteissa 1...3 kantavan kerroksen yläosana. Rakenteeseen ottaa vastaan ajoneuvojen pyöräkuormien aiheuttamat rasitukset. Tämän vuoksi tehdään kantava kerros mahdollisimman stabiiliksi.

Hyvä stabiiliteetti aikaansaadaan käyttämällä massassa riittävän karkearakeista kiviainesta.

Bitumisoran kiviaineksesta voidaan käyttää murskesoraa, murskettua tai seulottua soraa. Mikäli halutaan parantaa bitumisorakerroksen kulutuskestävyyttä, voidaan sekoitusvaiheeseen lisätä kiviainekseen hiekkaa tai täytejauhetta sekä käyttää normaalia korkeampaa sideainepitoisuutta.

Rakenteenkerroksen kantavuus riippuu mm. käytetyn kiviaineksen suurimmasta nimellisraekoosta. Kiviaineksen rakeisuuden ylärajaksi valitaan yleensä käyttötarkoituksesta ja kerroksen paksuudesta riippuen 25...40 mm taulukon 6 mukaisesti.

Kiviainesseoksen rakeisuuskäyrien keskiarvokäyrän tulee kulkea kuvassa 23 esitetyllä alueella rajakäyrien muotoa noudattaen.



Kuva 23:

Bitumisoran ja bitumihiekan raekoostumuksien ohjealueet.

Kiviaineksen tulee olla rapautumaton ja täyttää III luokan vaatimukset. Runsaasti kiillettä ja suuria määsälparakeita sisältäviä kiviaineita tulisi välttää.

Bitumihiekka (BH)

Bitumihiekkaa käytetään sidotun kantavan kerroksen materiaalina tapauksissa, jolloin soraa tai vastaavaa karkeutta olevaa materiaalia ei ole saatavissa kohtuullisin kustannuksin.

Kiviaineksena käytetään pääasiassa hiekkaa ja täytejauhetta. Koska hienorakeista kiviainesta käytettäessä saattaa rakennekerroksen stabiliteetti helposti tulla liian alhaiseksi, on usein

edullista lisätä hiekkaan karkeampaa materiaalia.

Kuvassa 23 on esitetty bitumihiekan soveltuvan kiviaineksen raekoostumuksen ohjealue. Bitumihiekan ohjealueen alemman rajakäyrän leikkaavien rakeisuuskäyrien edellyttämät kiviainekset soveltuvat yleensä myös bitumihiekan valmistamiseen, ellei kiviaineksen maksimirakekoko ylitä bitumisorassa käytetyn kiviaineksen maksimirakekoko. Ohjealueen jakaa kahteen osaan (A ja B) 2 mm seulan kohdalla oleva 80 % läpäisyarvo. Alueella B olevaa ainesta tulee käyttää ainoastaan sellaisissa tapauksissa, jolloin karkeampaa materiaalia ei ole taloudellisesti saatavissa.

Kiviaines ei saa olla rapautunutta, mutta erikoisia lujus- ja raemuoto-vaatimuksia ei kiviainekselle aseteta. Myöskään hiekan humuspitoisuudella ei ole merkitystä.

Imeytyssepellys (Is)

Imeytyssepellystä käytetään tien kantavana kerroksena tai sen yläosana. Rakenteena imeytyssepellys ei ole niin kantava kuin esim. bitumisora. Imeytyssepellystä käytetään enimmäkseen niissä tapauksissa, jolloin kalliosta on valmiiksi murskattu ko. kerrokseen sopivaa kiviainesta tai työ on niin pieni, ettei massakonetta katsota voitavan siirtää työpaikalle.

Koska sepelirakeet sidotaan toisiinsa imeyttämällä, tulee kerroksen tiivistettynä olla niin avoin, että sideaine pääsee tunkeutumaan kerrokseen. Tämän vuoksi käytetään kiviaineksena karkeata sepeliä tai sorasepeliä.

Sepeli ei saa olla tasarakeista, koska tällaisesta materiaalista valmistettu kerros jää liian epästabiiliksi ja avoimeksi, mutta ei liian suhteistunutta-kaan, koska tällöin kerroksesta tulee liian tiivis ja sideaine ei tunkeudu rakenteeseen. Taulukossa 7 esitetään imeytyssepellykseen käytettävän kiviaineksen rakeisuusvaatimukset.

Kahta kiilausta käytetään vain ta-

pauksissa, jolloin kulutuskerrosta ei välittömästi rakenneta imeytyssepellyksen päälle.

Karkean sepelin ja kiilaussepelin tulee olla rapautumatonta ja II luokan vaatimukset täyttävää ainesta.

Massasepellys (Ms)

Massasepellystä käytetään kantavana kerroksena, jolloin imeytyssepellyksen karkea sepelikerros sidotaan hienorakeisella asfalttimassalla.

Käytettävien kiviainesten tulee täyttää II luokan vaatimukset.

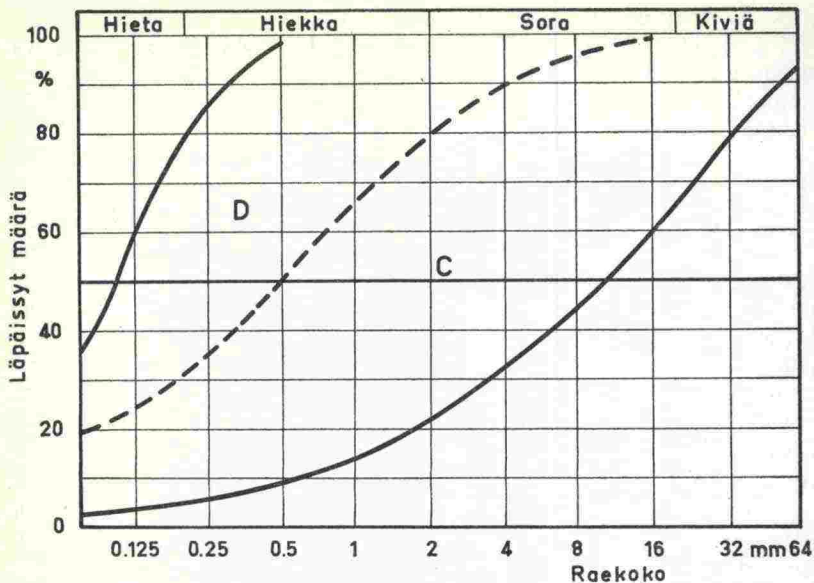
Maabetoni (Mb)

Maabetonia voidaan käyttää kantavan kerroksen alaosana. Rakenne tehdään tavallisesti stabiloimalla paikallinen maa-aines, mutta eräissä tapauksissa kannattaa materiaali tuoda joko kokonaan tai osittain muualta. Stabiloitavan maa-aineksen raekoostumuksen perusteella on harkittava, mitä laitteita stabiloinnin suorituksessa kannattaa käyttää. Maabetonimassa voidaan tiesekoituksen asemesta myös valmistaa asemasekoituksella.

Stabiloitava kiviaines voi olla soraa, hiekkaa, hietaa tai moreenia. Kiviaineksen suurin raekoko ei saa yleensä olla suurempi kuin 60...70 mm. Hienoaineksen (0.074 mm läpäisevän

Taulukko 7. Imeytyssepellyksen kiviaineksen rakeisuus.

Sepelikerroksen paksuus	Karkea sepeli (mm)	1 kiilaus (mm)	2 kiilaus (mm)
Noin 8 cm (Is-8) ..	20 ... 64	12 ... 16 (20)	6 ... 8 (12)



Kuva 24:

Maabetonin kiviainekseksi soveltuvat parhaiten alueella C olevat ainekset. Mikäli materiaali on alueella D tai risteää alueella C ja D, voidaan se stabiloida, mutta tällöin on tarkkava myös lisäkiviaineksen sekoitusmahdollisuuksia. Tällöin voidaan pienentää sementin tarvetta.

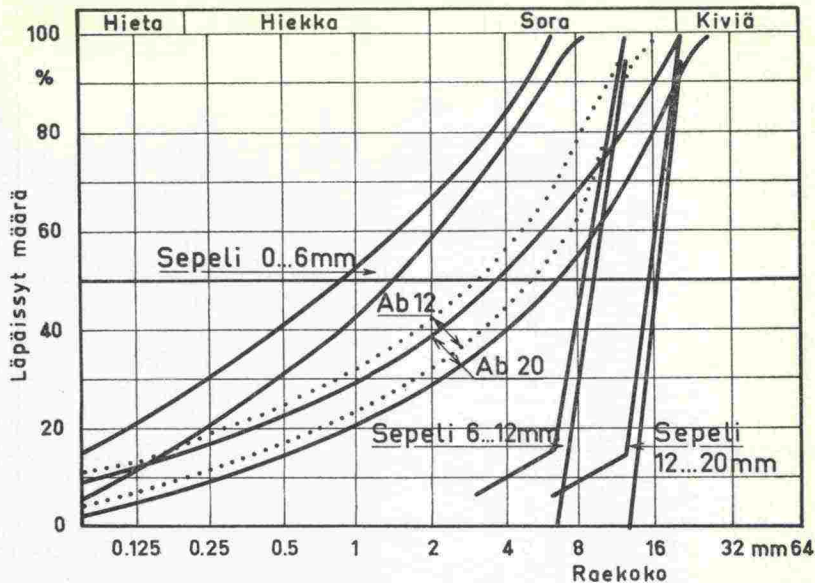
aineksen) määrä tulee olla alle 20 % (vrt. kuva 24). Eräissä tapauksissa voidaan kuitenkin stabiloida vielä materiaalia, jonka hienoaimesmäärä on jopa 35 %.

Kiviainesta, joka kuuluu humuspitoisuudeltaan ryhmään III tai on sitä humuspitoisempaa (NaOH-menetelmä, ks. osa II), ei yleensä pitäisi käyttää. Humuspitoisuuden vaikutuksen pienentämiseksi voidaan stabiloinnissa käyttää lisäaineena kalsiumkloridia, hienokalkkia tai ylimäärin sementtiä. Hienorakeiseen paikalliseen kiviainekseen saattaa olla edullista

sekoittaa muualta tuotua karkeampaa kiviainesta tai puuttuvaa lajitetta rakeisuuden parantamiseksi.

Sementtisepellys

Sementtisepellystä käytetään kuten maabetoniakin kantavan kerroksen alaosana. Sementtilaastilla sidottavan karkean sepelin maksimirakekoko saa olla korkeintaan $\frac{2}{3}$ sidottavan kerroksen paksuudesta. Raekoko voi olla esim. 64...100 mm tai 32...64 mm. Sementtilaastissa käytettävän suhteistuneen hiekan edullisin maksimirakekoko



Kuva 25 a:

Asfalttibetoniin Ab 12 ja Ab 20 käytettävät sepelilajitteet sekä lajitteista tehdyt subteitukset (ilman täytejaubetta).

on 4...8 mm. Karkean sepelin tulee täyttää III luokan lujuusvaatimukset.

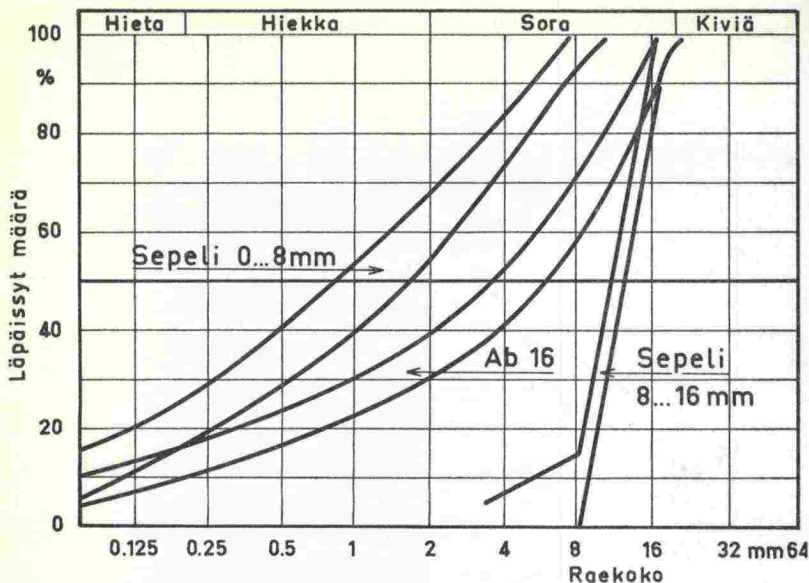
2.24 KULUTUSKERROS

Asfalttibetoni (Ab)

Asfalttibetonista voidaan tehdä kulutuskerros erilaisia raekoostumuksia käyttäen. Maksimirakekoko on riippuvainen lähinnä rakennettavan kerroksen paksuudesta. Tässä yhteydessä on myös mainittava, että karkearakeisten asfalttibetonien kulutuskestävyys nastarengaskulutusta vastaan on suurempi kuin hienorakeisten vastaavien kulutuskerrosten kestävyys.

Asfalttibetonipäällysteessä käytetään kiviaineksena sepeliä. Sepelilajitteista suhteittamalla saadaan kiviainekselle haluttu raekoostumus. Rakeisuuden parantamiseen voidaan myös käyttää hiekkaa. Tavallisimmat asfalttibetonityypit ja niihin käytettävät sepelilajitteet selviävät taulukosta 8. Lajitteiden tarkempi raekoostumus selviää kuvista 25 a ja b.

Sepelilajitteiden tulee täyttää II luokan vaatimukset. Kiviaineksen lujuudella, joka ilmaistaan Los Angeles-lukuna, on merkitystä lähinnä kulutuskerrosta tiivistettäessä, mutta sillä on vaikutusta myös päällysteen kulutuskestävyyteen. Raemuoto vaikuttaa



Kuva 25 b:

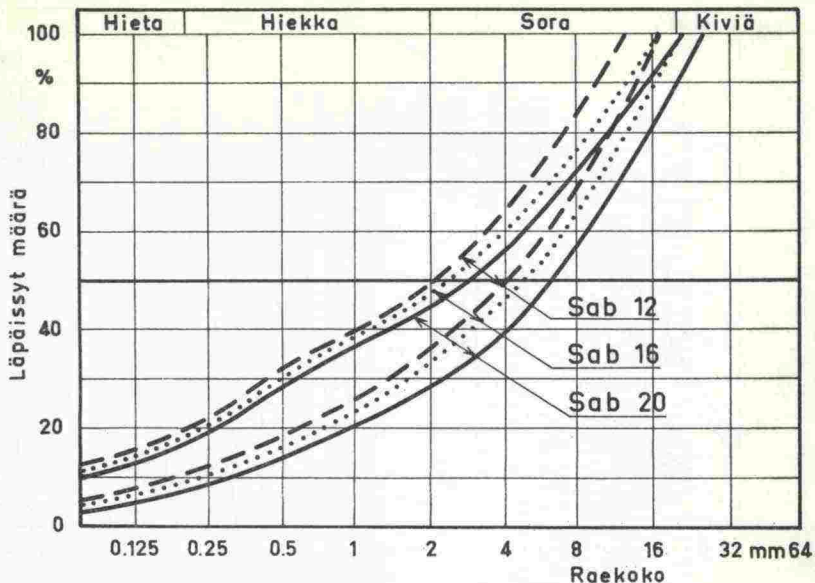
Asfalttibetoniin Ab 16 käytettävät sepelilajitteet sekä lajitteista tehty subteitus (ilman täytejaubetta).

Taulukko 8. Asfalttibetonityypit ja niihin käytettävät sepelilajitteet.

Asfalttibetonityyppi	Kerros­paksuus noin (cm)	Massamäärä (kg/m ³)	Sepelilajitteet (mm)
Ab 12	3	75	0 ... 6, 6 ... 12
Ab 16	4	100	0 ... 8, 8 ... 16
Ab 20	5	100 ... 120	0 ... 6, 6 ... 12, 12 ... 20

Taulukko 9. Sora-asfalttibetonityypit ja niihin käytettävät kiviainekset.

Sora-asfalttibetoni tyyppi	Kerros­paksuus noin (cm)	Massamäärä (kg/m ³)	Murskesoran rakeisuus (mm)
SAb 12	3	75	0 ... 12
SAb 16	4	100	0 ... 16
SAb 20	5	120	0 ... 20



Kuva 26:

Sora-asfalttibetoniin käytettävän kiviaineksen raekoostumus (ilman täytejauhetta).

lähinnä massan tiivistyvyyteen. Mikäli kiviaineksessa on runsaasti kiillettä, se saattaa aiheuttaa päällysteessä nopeaa rapautumista.

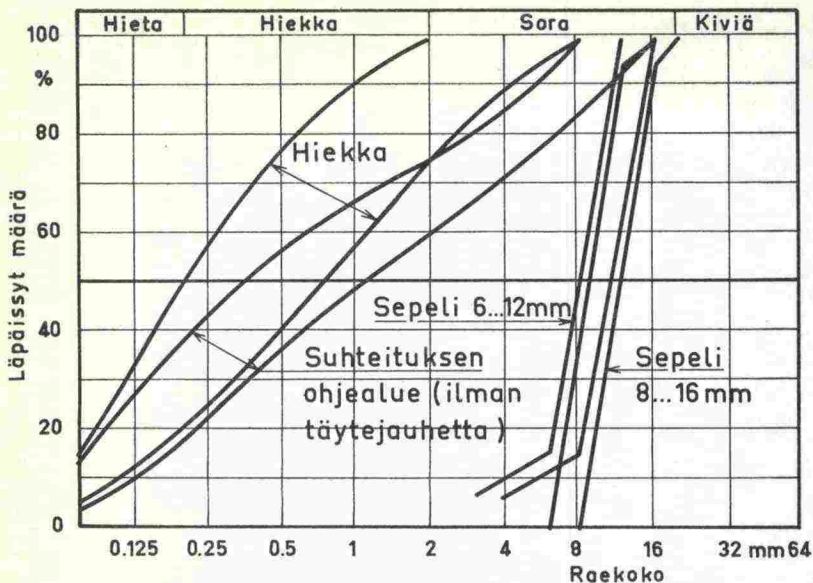
Sora-asfalttibetoni (SAb)

Sora-asfalttibetoni vastaa ominaisuuksiltaan lähinnä asfalttibetonia niin kulutuskestävyytensä kuin säänkestävyytensäkin puolesta.

Kiviaineksena sora-asfalttibetonissa käytetään tavallisesti murskesoraa, mutta mikäli käytettävissä on rakeisuusvaatimukset täyttävää luonnonsoraa, voidaan sitäkin käyttää. Murskesoran rakeisuutta voidaan parantaa hiekkalisäyksellä.

Kiviaineksen rakeisuusvaatimukset on esitetty kuvassa 26. Keskiarvokäyrän tulee kulkea ohjealueella sen rajakäyrien muotoa noudattaen. Rakeisuuden yläraja valitaan kerrospaksuuden ja käyttötarkoituksen mukaan samoin kuten asfalttibetonipäällysteenkin (vrt. taulukko 9).

Kiviaineksen tulee täyttää II luokan vaatimukset. Luonnonsorasta murskatussa kiviaineksessa on yleensä hyvä raemuoto eikä tavallisesti kiillettäkään esiinny haitallisessa määrin. Humuspitoisuudella ei ole merkitystä käytettäessä murskesoraa sora-asfalttibetonin valmistukseen.



Kuva 27:

Hiekka-asfalttibetonissa käytettävän hiekan ja sepelin raekoostumuksien ohjealueet sekä näistä tehdyn suhteituksen ohjealue (ilman täytejauhetta).

Hiekka-asfalttibetoni (H A b)

Hiekka-asfalttibetonista tehdään kulutuskerros tavallisesti aikaisemmin tehdyille päällysteille tai sidotulle kantavalle kerrokselle.

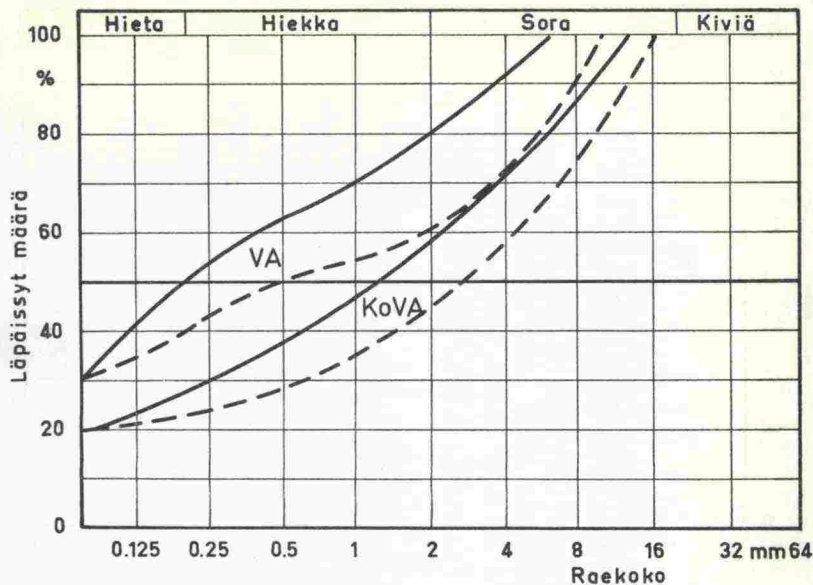
Kiviaineksena hiekka-asfalttibetonissa käytetään hiekkaa ja sepeliä ja/tai murskesoraa. Hiekka muodostaa päällysteen sideainetta sitovan rungon ja karkeat rakeet tekevät sen kulutusta kestäväksi ja karkeuttavat sitä.

Hiekan ja sepelin rakeisuuden ohjealueet on esitetty kuvassa 27. Kiviaineksen rakeisuuskäyrien keskiarvokäyrän on sijaittava em. ohjealueilla

ja kuljettava mieluummin rajakäyrien muotoa noudattaen.

Hiekalle ei ole asetettu muita vaatimuksia. On kuitenkin edullista, jos hiekka sisältää mahdollisimman paljon hienoja aineksia. Sepelin ja murskesoran, joita käytetään massan valmistukseen, tulee täyttää II luokan vaatimukset. Erittäin vilkkaasti liikennöidyillä teillä olisi kuitenkin pyrittävä käyttämään I luokan vaatimukset täyttävää sepeliä ja murskesoraa.

Pinnan karkeutukseen käytetään aina I luokan vaatimukset täyttävää sepeliä. Raekoon tulee olla 16...20 mm tai eräissä tapauksissa 12...16 mm.



Kuva 28:

Valuasfaltissa ja konevaluasfaltissa käytettävän kiviaineksen raekoostumuksen ohjealueet. Suhteitus tehdään hiekasta, sepelistä ja täytejauheesta.

Tervabetoni (Tb)

Kiviaineksen tulee täyttää samat vaatimukset kuin sora-asfalttibetonin kiviaineksenkin.

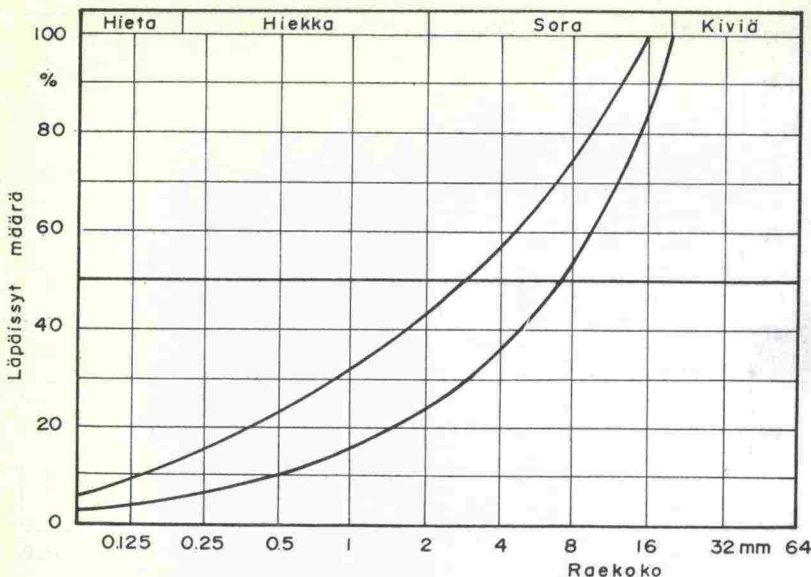
Valuasfaltti, Konevaluasfaltti (VA, KoVA)

Valuasfaltista tehdään kulutuskerros aikaisemmin tehdyille päällysteille tai muulle sidotulle ja kantavalle alustalle. Valuasfaltti on tiivis ja kulu- tusta kestävä päällyste.

Kiviaineksenä käytetään hiekkaa ja sepeliä. Jalkakäytäväpäällysteessä voidaan käyttää myös sorasepeliä. Hiekasta ja sepelistä sekä täytejauheesta

tehdyn suhteituksen ohjealue on esitetty kuvassa 28. Suhteituskäyrän on sijaittava em. ohjealueella ja kuljetta- va rajakäyrien muotoa noudattaen. Valuasfaltissa on käytettävä vähintään 30 % ja konevaluasfaltissa vähintään 40 % 2 mm suurempaa sepeliä, mikäli on kyseessä ajoratapäällyste. Humuspitoisten ja rapautuneitten hiekkojen käyttöä on vältettävä, muuten hiekalle ei ole asetettu muita laatu- vaatimuksia. Päällysteessä käytettävän sepelin tulee täyttää II luokan vaa- timukset.

Valuasfaltin karkeuttamiseen voi- daan käyttää sepeliä 16...20 mm tai eräissä tapauksissa 12...16 mm.



Kuva 29:

Öljysorassa ja bitumiliuossorassa käytettävän kiviaineksen raekoostumuksen ohjealue.

Karkeutussepin tulee täyttää I luokan vaatimukset.

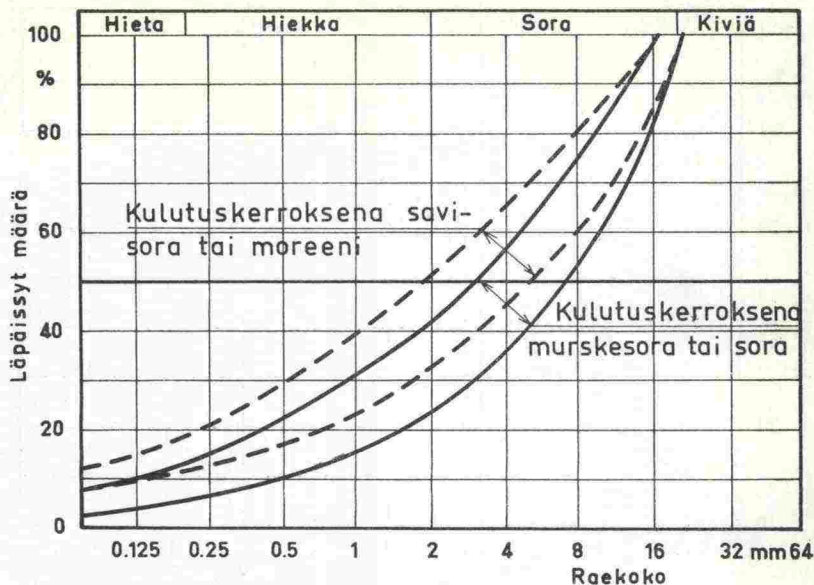
Bitumiliuossora (BIS)

Bitumiliuossora on kylmänä sekoitetusta massasta valmistettu kulutuskerros. Mikäli kiviaineksen vesipitoisuus on korkea, tai kiviaineksessa on runsaasti hienoainesta tai epäpuhtauksia, on aiheellista kuitenkin valmistaa massa kuumasekoituksella. Tästä johtuen kiviainekselle asetetaan eräitä erikoisvaatimuksia.

Bitumiliuossoran kiviaineksena käytetään murskesoraa, jonka rakeisuuden yläraja on yleensä 16...20 mm.

Kuvassa 29 on esitetty rakeisuuden ohjealue, jossa rakeisuuskäyrien tulee kulkea rajakäyrien muotoa noudattaen.

Kiviaineksen tulee täyttää II luokan vaatimukset lujuteen ja raemuotoon nähden. Sellaisen kiviaineksen käyttöä, joka kuuluu humuspitoisuutensa perusteella IV luokkaan (NaOH-menetelmä, ks. osa II), on vältettävä. Liian suuri humusmäärä pienentää tartukkeiden tehoa, jolloin sideaineen ja kiviaineksen välinen tarttuvuus huononee. Kiviaineksen murskaus tulisi suorittaa keväällä ja kesällä, jolloin valmiin murskesoran vesipitoisuus on mahdollisimman alhainen.



Kuva 30:
 Sorateillä käytettävän kulutuskerroksen kiviaineksen raekoostumuksen ohjealue.

Öljysora (ÖS).

Öljysora on kuten bitumiliuossorakin kylmänä sekoitetusta massasta valmistettu kulutuskerros. Kiviainekselle asetetaan seuraavat vaatimukset:

Öljysoran kiviaineksena käytetään yleensä murskesoraa, jonka rakeisuuden yläraja on 16...20 mm.

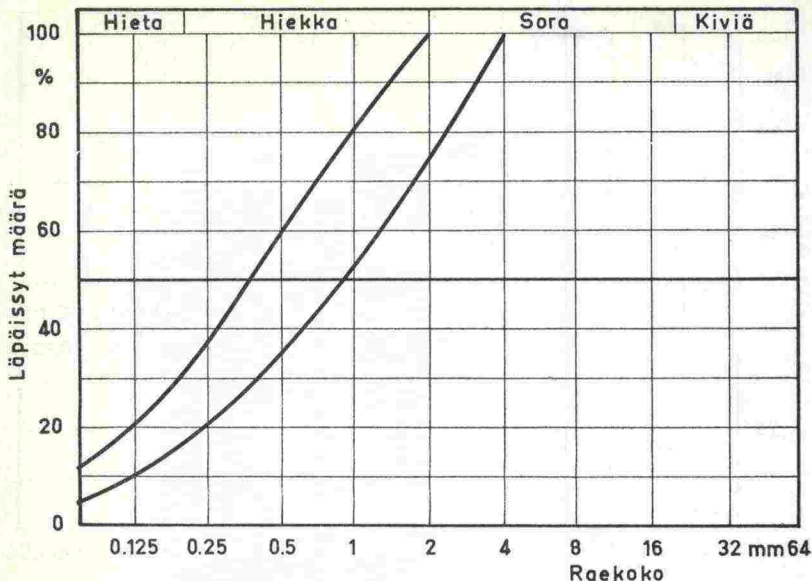
Kuvassa 29 on esitetty rakeisuuden ohjealue, jossa rakeisuuskäyrien keskiarvokäyrien tulee kulkea rajakäyrien muotoa noudattaen. Kiviaineksen tulee täyttää II luokan vaatimukset. Humuspitoisuus pienentää tartukkeiden tehoa, joten IV humuspitoisuusluokkaa (NaOH-menetelmä) on vältettävä. Sideaineen ja kiviaineksen välinen

tarttuvuus on riippuvainen myös kiviaineksen vesipitoisuudesta, joten kiviaineksen murskaus olisi, mikäli mahdollista, tehtävä keväällä tai kesällä.

Soratien kulutuskerros

Sorateillä käytetään tavallisesti savelle ja kalsiumkloridilla tai yksinomaan kalsiumkloridilla sidottua kulutuskerrosta. Kerroksen tulee olla kulumusta kestävä ja kantava sekä hyvin sitoutunut, jolloin se on vastustuskykyinen veden pehmittävää vaikutusta vastaan.

Soratien kulutuskerroksen kiviaineksena käytetään murskesoraa, luonnon-soraa tai moreenia. Murskesoraa käy-



Kuva 31:

Emulsiolietepintauksessa käytettävän suhteitetun kiviainesseoksen raekoostumuksen ohjealue.

tetään eniten, koska luonnonsora ja moreeni verraten harvoissa tapauksissa täyttävät annetut rakeisuusvaatimukset.

Kulutuskerroksen kiviaineksen rakeisuuden ohjealue on esitetty kuvassa 30. Murskesoran ja seulomalla valmistetun soran rakeisuuskäyrän tulee olla alemmalla alueella. Mikäli sitomiseen käytetään savea, tulee suhteitetun valmiin savisoramassan kiviaineksen raekoostumuksen olla ylempällä alueella. Moreenista murskaamalla valmistetun kiviaineksen ohjealueeksi soveltuu parhaiten ylempi alue. Sitomiseen käytettävän saven savilajitteen määrä (alle 0.002 mm rakeiden prosentuaa-

linen määrä) tulee olla vähintään 30 %. Savilajitteiden määrän ollessa vähintään 50 % on aines erittäin hyvää ko. tarkoitukseen.

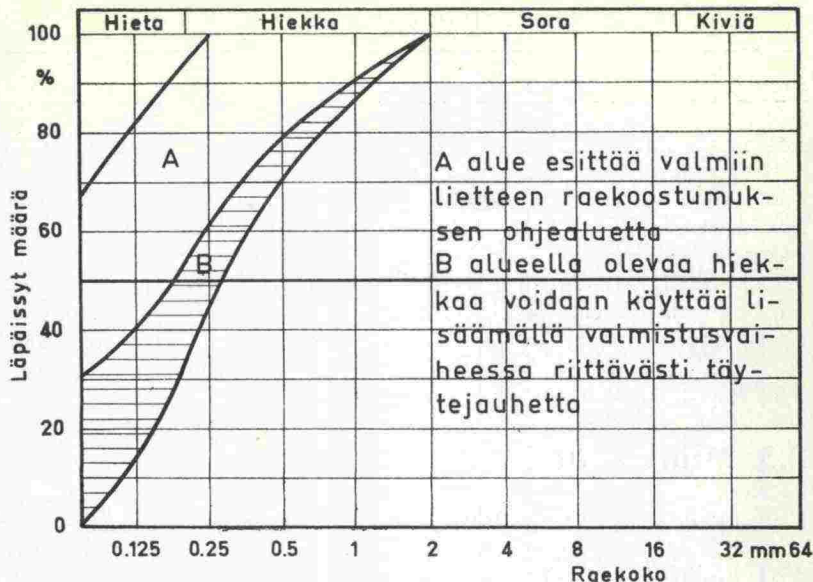
Kiviaineksen tulee täyttää III luokan vaatimukset.

2.25 PINTAUKSET

Emulsiolietepintausta (E1)

Emulsiolietepintausta käytetään vanhan päällysteen korjaamiseen ja tiivistämiseen. Näin ollen pintausta tulee kestää kulutusta sekä olla koostumukseltaan tiivis.

Emulsiolietteen kiviaineksenä käytetään yleensä hienon sepelin tai seulo-



Kuva 32:

Tervalietepintauksessa käytettävän kiviaineksen raekoostumuksen ohjealue.

tun murskesoran ja hiekan tai hiedan seosta tai pelkästään ensin mainittuja.

Käytettävän kiviaineksen rakeisuusvaatimukset on esitetty kuvassa 31.

Sepelin ja murskesoran tulee täyttää II luokan vaatimukset. Humuspitoisuus pienentää rakeiden välistä tarttuvuutta. Mikäli hiekan tai hiedan humuspitoisuus on IV luokan mukaista (NaOH-menetelmä, ks. osa II), ei sitä pitäisi käyttää em. lietteen valmistukseen.

Tervalietepinta (T1)

Tervalietepintausta käytetään päällysteiden korjaukseen ja pinnan tiivistämiseen tai estämään öljyjen vai-

kutusta päällysteeseen. Kiviaineksenä käytetään luonnon hietaa tai hiekkaa. Taloudellisesti on edullista sellainen materiaali, joka sisältää 30...50 % 0.074 mm läpäissyttä ainesta.

Kiviainesseoksen, johon on lisätty täytejauhe, tulee olla kuvassa 32 esitetyllä alueella A. Alueella B sijaitsevaa hiekkaa voidaan käyttää lisäämällä valmistusvaiheessa riittävästi täytejauhetta.

Kiviainekselle ei ole asetettu lujuus- eikä raemuotovaatimuksia.

Sirotepinta (Sip)

Sirotepintausta käytetään päällysteiden korjaukseen.

Taulukko 10. Sirotepintauksen materiaalit.

Sirote (mm)	6 . . . 8	6 . . . 12	8 . . . 12	12 . . . 16
Määrä (l/m ²)	8 . . . 10	8 . . . 12	10 . . . 14	12 . . . 16

Kiviaineksena käytetään sepeliä, jonka tulee olla mahdollisimman tasarakeista ja puhdasta.

Taulukosta 10 selviävät eri raekokojen käyttömahdollisuudet ja käytettävät määrät:

Kiviaineksen tulee täyttää I luokan vaatimukset. Hienoa ainesta (alle 0.074 mm) ei lajitteissa saa olla 1 % enempää, eikä 5 % enempää ainesta, joka on puolet lajitteen alarajan nimellimitasta. Yleensä tulisi sirote pestä ennen käyttöä.

2.3 Muut materiaalit

2.31 BETONIN RUNKOAINEET

2.311 LAATUVAATIMUKSET

Runkoaine on betonin rakeinen, mineraalinen ainesosa, joka yhdessä sementin ja veden seoksen kanssa muodostaa betonin ja käsittää yleensä pääosan sen tilavuudesta.

Betonitoissa ei ole tärkeintä kuitenkin se, että betonin runkoaine olisi mahdollisimman korkealuokkaista, vaan se, että valmis betoni lujuusarvoiltaan vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Tästä syystä ei betoninormeissa ole runkoaineen osalta esitettyä kuin joitakin yleisiä, sekä lähinnä minimitasoa edustavia laatuvaatimuksia. Niinpä normeissa kiviaineksista mainitaan, että niiden on kaikilta kysymyksen tulevilta ominaisuuksiltaan oltava tarkoitukseensa soveliaita.

Kiviainekset eivät saa olla siinä määrin rapautuneita eivätkä sisältää

sellaisia mineraalisia tai muita aineita, että nämä syyt voivat vaikuttaa haitallisesti betonin kovettumiseen tai huonontavasti sen lujuuteen tai säilyvyyteen.

Edelleen on kiviainesten oltava puhtaudeltaan ja rakeisuudeltaan sellaiset, että edellytetyt betonin ominaisuudet ovat saavutettavissa sementtiä kohtuullisesti käyttäen, eivätkä puhtaus ja rakeisuus saa vaihdella niin paljon ja jyrkästi, että betonin ominaisuuksien vaihtelun pitäminen riittävän pienenä käy kohtuuttoman vaikeaksi.

Muuta mineraalista ainetta, kuten masuunikuonaa, tiilimurskaa tai muuta näihin verrattavaa, saa kiviaineksen sijasta poikkeuksellisesti käyttää runkoaineena sen jälkeen, kun kussakin tapauksessa erikseen on asianmukaisin ennakkokokein osoitettu, että valmistettava betoni on kelvollista aiottuun tarkoitukseen.

Tärkein muutos vanhoihin betoni-normeihin nähden on uusissa nor-meissa kiviaineksen osalta se, että nykyään vaaditaan, että A- ja B-betonia valmistettaessa on runkoaineen, tarpeen mukaan erikseen lisättävää fillerihietaa tai fillerijauhetta lukuun-ottamatta, oltava ainakin hienoksi ja karkeaksi runkoaineksi lajiteltua. Näiden ohella voidaan erikseen käyttää täyte kiviiä.

Hienona runkoaineena pidetään 8 mm seulan läpäisevää ja karkeana runkoaineena tälle seulalle jäävää ainesta. 128 mm seulalle jäävää ainesta pidetään täyte kivinä. Lisäksi voidaan erottaa taulukon 11 mukaisia osakivi-aineiksi.

Betonin koko runkoaineen rakeisuu-den tulee olla sellainen, että 8 mm seulan läpäisevän runkoaineen läpäisy-

arvot asettuvat taulukossa 12 olevien raja-arvojen väliin, ja ettei peräkkäis-ten läpäisyarvojen erotus ole suurempi kuin 40 %.

A- ja B-betonia valmistettaessa runkoaineen painosta on oltava karkeaa runkoainetta vähintään taulukon 13 mukainen määrä. Väliarvot saa inter-poloida suoraviivaisesti.

Milloin A-betonia valmistettaessa runkoaineen suurin raekoko on suu-rempi kuin 32 mm, on karkean runko-aineen oltava ainakin kahtia lajiteltua. Samoin on oltava vastaavassa tapauk-sessa valmistettaessa B-betonia K 300.

C-betonia valmistettaessa on pyrit-ävä käyttämään ainakin hienoksi ja karkeaksi lajiteltua runkoainetta. Jos betonin suunnittelulujuus on K 200, on ainakin hienoksi ja karkeaksi laji-teltua runkoainetta aina käytettävä.

Taulukko 11. Betonin osakiviainekset.

Osakiviaines		Läpäisee seulan (mm)	Jää seulalle (mm)
kivennäismaalajeista saata- vissa kiviaineksissa	murskaamalla valmistetuissa kiviaineksissa		
Somero	Sepeli	—	8
Sora	Murskesora	32	—
Hienosora	Hienomurskesora	8	—
Hiekka	Murskehiekka	4	—
Hienohiekka	Kivijauhe	1	—
Fillerihietä	Fillerijauhe	0.25	—

Taulukko 12. Betonikiviaineksen rakeisuus.

Seula (mm)	Läpäisyarvo (%)						
	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
Yläraja	10	21	45	70	90	100	100
Alaraja	0	3	10	21	40	67	100

Taulukko 13. Karkean runkoaineen vähimmäisosuus.

Suurin rae koko (mm)	Karkean runkoaineen vähimmäisosuus (%)
16	20
32	30
64	40
128	50

Yhtä lajittelematonta runkoainetta käytettäessä on seulontakokeilla osoitettava, että karkeaa runkoainetta on vähintään $\frac{1}{5}$ koko runkoaineen painosta.

Runkoaineena käytettävien ainesten on oltava tasalaatuisia eikä niiden mukana saa seurata epäpuhtauksia. Milloin runkoaineet otetaan tai toimitetaan lajittelemattomina, ne on ennen käyttöä lajiteltava kysymyksessä olevan työn luokan mukaisesti.

Edellä mainittujen rakeisuuteen liittyvien laatuvaatimusten lisäksi runkoaineelta vaaditaan, että mikäli osassa II selostetulla tavalla tehdyssä humuskokeessa liuksen väri pysyy muuttumattomana tai muuttuu enintään keltaiseksi, voidaan kiviainesta yleensä pitää kelvollisena betoniin käytettäväksi. Milloin väri on muuttunut vaaleanruskeaksi tai sitä tummemmaksi, kiviaineksen kelvollisuus on todettava koekappaleille tehtävin kokein. Jos liuksen väri on muuttunut ruskeaksi tai vielä tummemmaksi, kiviainesta on yleensä pidettävä kelpaamattomana.

Jos betoninormien 41 §:ssä selostetulla tavalla tehdyssä lietekokeessa kiviaineksen lietepitoisuus on suurempi kuin 6 %, kiviaineksen kelvollisuus on todettava koeseoksilla tai tarvittaessa koekappaleilla.

Tärkeimmät seikat betonin runkoaineita tutkittaessa ovat siis rakeisuus, humus- ja lietepitoisuus sekä näiden vaihtelu. Muista määrittämisistä tulevat useimmin kysymykseen kiviaineksen vesipitoisuuden ja tilavuuspainon tai tiheyden määrittykset.

2.312 LAATULUOKITTELU

Betoni, betonityöt ja vastaavat rakenteet luokitellaan kolmeen luokkaan, joita nimitetään A-, B- ja C-luokiksi. Näitä luokkia koskevien määräysten mukaan valmistettua betonia nimitetään vastaavasti A-, B- ja C-betoniksi. Betoninormeissa on annettu ohjeet, miten mm. ainesosien tutkiminen, suhteitus, ennakkokokeet ja töiden valvonta on kussakin luokassa suoritettava.

Nykyisten betoninormien mukaan ei betonin runkoainesta sellaisenaan vastaavasti luokitella laadun mukaan. Määrätyn vaatimustason (ks. kohta 2.311) ylittävästä kiviaineksesta voidaan valmistaa eriluokkaista betonia. Kelvollisen kiviaineksen vaihtelurajat ovat siis melko väljät.

Tämän johdosta on eri tahoilla (mm. RIL ja Suomen Betoniyhdistys)

Taulukko 14. Betonikiviaineksen kaupalliset lajitteet.

Kiviaines	Lajitteiden nimellisraekoko		
Hieno	0 ... 4 mm,	0 ... 8 mm	
Karkea	4 ... 16 mm,	8 ... 32 mm,	16 ... 64 mm

pyritty tarkemmin luokittelemaan betonin runkoaines lähinnä kaupallisia näkökohtia silmällä pitäen. Onhan selvää, että esim. tehdasbetonia valmistettaessa on kiinnitettävä eri tavalla huomiota kiviainekseen ja sen laadun vaihteluun kuin jollakin pienellä rakennustyömaalla. Lähinnä tässä mielessä on kiviainekset luokiteltu laadun mukaan luokkiin A ja B (tai I ja II). Kiviaines kuuluu A- tai I-luokkaan, jos se täyttää humus- ja liete-pitoisuudeltaan sekä rakeisuudeltaan näille luokille asetetut laatuvaatimukset ja B- tai II-luokkaan, jos se täyttää näiden luokkien kiviainekselle asetetut edellisiä väljemmät vaatimukset. Ei ole kuitenkaan tarkoitus, että esim. rakennustarkastaja tulisi vaatimaan laadun puolesta luokitellun kiviaineksen käyttöä määrättyssä työssä, vaan kysymys on ostajan ja myyjän tai rakennuttajan ja urakoitsijan välisestä asiasta.

Suomen Rakennusinsinöörien liiton ja Suomen Betoniyhdistyksen asettama Kiviainesnormitoimikunta (v. 1968) suosittelee betonin kiviaineksen kaupalliseksi lajitteiksi taulukon 14 mukaisia lajitteita.

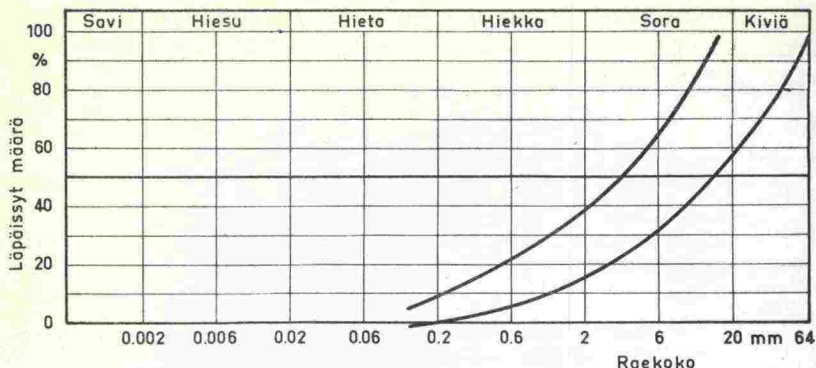
Luonnollisesti voidaan käyttää edellisten lisäksi myös muita nimellisraekokoja kuten esimerkiksi 0...1 mm, 0...2 mm, 2...8 mm, 4...8 mm,

8...16 mm, 8...64 mm, 16...32 mm tai 32...64 mm.

2.313 RUNKOAINEEEN SUHTEITUS

Haettaessa ohjeprocentteja eli niitä seuloja 0.125 mm ja 4 mm vastaavia läpäisyprocentteja, joiden kautta seoskäärän on kuljettava, on tunnettava kiviainesseoksen suurin raekoko ja betonin suhteitusluku. Kiviainesseoksen suurimmaksi raekooksi arvioidaan graafisesti se seulakoko, jonka läpäisee 90 % karkeimmasta kiviaineksestä. Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen betoniteknillisen laboratorion laatiman rakeisuusohjemonogrammin (sisältyy betonin suhteituskaavakkeeseen) avulla saadaan em. ohjeprocentit. Nämä %-luvut määräävät seoskäärän paikan kuvan 33 tummennetulla alueella.

Kun ohjeprocentit on saatu selville, määritetään ns. seosprocentit, joiden suhteissa kiviainekset kokeilemalla yhdistetään. Seoskäyrä on lisäksi pyrittävä, mikäli mahdollista, saamaan raja-arvokäyrien muotoiseksi. Tosin on todettava, että ohjeprocentteista ja käyrän muodosta joudutaan joskus sopivien kiviainesten puutteen vuoksi tinkimään. Betoninormien mukainen ennakkokoe on varsinkin tällöin paikallaan.



Kuva 33:
Betonikiviaineksen rakeisuuden ohjealue.

Betonin vedenpitävyys edellyttää hyvää runkoaineen rakeisuutta, riittävästä fillerimäärästä ja huolellista työsuoritusta, etenkin tiivistämistä. Suunnittelulujuuden on tällöin yleensä oltava vähintään K 300.

2.32 LÄMPÖERISTEET

2.321 ERISTYSPERIAATTEET

Lämpöeristeiden käyttö tienraken-
nustoissa tähtää roudan haittavaikutusten vähentämiseen. Tämä voidaan toteuttaa periaatteessa kahta eri tapaa käyttäen. Routimisen edellytyksenä on ensiksi se, että maa jäätyy ja toiseksi se, että maa jäätyessään saa vettä. Joko siis pyritään estämään routivien maakerrosten jäätyminen tai estetään niiden vedensaanti. Lämpöeristeitä käytettäessä yhdistetään yleensä nämä molemmat tavat. Tehokkaalla ojituksella ja joskus lisäksi muovikalvoja käyttäen vähennetään tien ja sen

alla olevan maan veden saantia, samalla kun lämpöeristyksellä estetään maan jäätyminen.

2.322 ERISTYSAINEEN YLEISET VAATIMUKSET

Roudan tunkeutumissyvyyden laske-
miseksi on johdettu kaavan (3) mukainen yleinen lauseke.

$$(3) h = \sqrt{\frac{2 \lambda F}{Q}}$$

- h roudan tunkeutumissyvyys (m)
- λ lämmönjohtoluku (lue: lamda) (kcal/mh° C)
- F pakkasmäärä (h° C)
- Q lämpökapasiteetti (kcal/m³)

Tarkkojen numeeristen laskujen suorittaminen tarvittavan eristyskerroksen paksuuden määrittämiseksi on kuitenkin paljon mutkikkaampaa ja lopputulokset ovat yleensä epätarkkoja.

Epätarkkuus johtuu lähinnä vesipitoisuuden vaihteluiden voimakkaasta vaihtelusta aineiden lämpökapasiteettiin ja lämmönjohtolukuun. Tämän takia teoreettisilla mitoituslaskelmilla ei juuri ole käytännön merkitystä. Tarpeellisten eristepaksuuksien määrittämiseksi on suoritettu ja parhailaan suoritetaan useita koesarjoja mm. Ruotsissa ja Suomessa.

Yksityiskohtainen laskumenetelmä eristyksen paksuuden määrittämiseksi on selostettu mm. Svenska Riksbyggenin tiedoituksessa Nr 3/66.

Tienrungon ja varsinkin eristyskerroksen vesipitoisuudella on täysin ratkaiseva merkitys eristyksen tehoa tarkasteltaessa. Jo hyvin vähäiset (1...2 painoprosenttia) vesipitoisuuden lisäykset itse eristysaineessa saattavat nostaa sen λ -arvoa aivan ratkaisevasti, jopa moninkertaisesti. Kaikkien huokoisten eristysaineiden eristyskyky heikkenee siis jyrkästi vesipitoisuuden vähänkin kasvaessa. Mikäli vesipitoisuus nousee useihin kymmeniin prosentteihin, ja eristysaine ja tienrakenne ovat sellaisia, että vesi säilyy niissä, paranee eristyksen teho taas tuntuvasti. Tällöin ei enää ole kyseessä varsinainen lämpöeriste, vaan pikemmin lämpövarasto. Vesi sitoo itseensä nimittäin varsin suuren lämpömäärän (80 kcal/litra), jonka se luovuttaa jäätyessään ja siten jarruttaa roudan tunkeutumista. Tällaisia korkean vesipitoisuuden omaavia eristeitä kutsutaan märkäeristeiksi.

Eristysaineiden kokoonpuristuminen saattaa vaikuttaa tien kantavuuteen ja pinnan tasaisuuteen, mutta ennen muuta se vaikuttaa eristysaineen omaan

eristystehoon. Perustuuhan alhainen lämmönjohtoluku poikkeuksetta eristysaineen suureen huokosmäärään ja näiden sisältämän ilmamassan eristystehoon. Tämän ilmamäärän pienentyessä kokoonpuristumisen yhteydessä heikkenee luonnollisesti aineen eristysteho. Tienrakennustöissä eristeet joutuvat verrattain suuren kuormituksen (1.0...2.0 t/m²) alaisiksi, joten kokoonpuristuvuudella on tärkeä merkitys eristysaineen yleisiä laatuvaatimuksia tarkasteltaessa. Eristysaineen kriittisiin ominaisuuksiin kuuluvat kokoonpuristuvuuden lisäksi sen muut lujuusominaisuudet, joista riippuu mm. eristeiden kestoikä ja se, kuinka lähelle tien pintaa eriste voidaan sijoittaa.

2.323 ERISTYSAINHEET

Mineraalivilloihin lukeutuvat kivi-villat, lasivillat ja kuonavillat. Villat valmistetaan kuumennetusta sulasta massasta linkoamalla. Massa muokkautuu ohuiksi kuiduiksi, jotka liitetään toisiinsa vähäistä, usein muovijoh-teista sideainemäärää käyttäen. Kuitumatto puristetaan tämän jälkeen haluttuun tiiviyyteen käyttötarkoituksen mukaan. Myöhemmin tapahtuva kokoonpuristuma on riippuvainen tämän esipuristuksen suuruudesta.

Mineraalivillat ovat alhaisen lämmönjohtolukunsa vuoksi hyviä eristeitä, mutta ne ovat alttiita kosteuden vaikutukselle ja menettävät kostuessaan ja kokoonpuristuessaan suurimman osan eristystehostaan. Aivan äskettäin on markkinoille ilmestynyt uusi kivivillalevy (routalevy), jossa

on käytetty paremmin vettä kestävää sideainetta kuin aikaisemmissa tyypeissä. Aineen vedenkesto-ominaisuuksista ei toistaiseksi kuitenkaan ole käytännön kokemuksia. Periaatteessa on tällä eristysaineella kaikki edellytykset toimia moitteettomasti huolimatta kosteusvaihteluiden aiheuttamasta ajoittaisesta λ -arvon huononemisesta. Tutkimuksilla on nimittäin selvitetty, että pakkaskauden alussa mineraalivillassa oleva kosteus pyrkii kasaantumaan kylmälle rajapinnalle muun osan eristeestä kuivuessa lähes täysin. Muina vuodenaikoina kosteus on riippuvainen sääolosuhteista, lähinnä sateista. Eristyksen kunnollisen toiminnan edellytyksenä on ilman kosteussulkuja (muoveja tms.) toteutettu hengittävä avoin rakenne.

Tehdas suosittelee Etelä-Suomeen 10...15 cm ja Pohjois-Suomeen 20 cm eristepaksuutta. Mineraalivillojen soveltuvuutta tienrakenteisiin on kokeiltu runsaasti. Kokeitten tulokset ovat olleet ristiriitaisia, jotkut kokeilut ovat jopa täysin epäonnistuneet. Ilmeistä on, että ennen kuin mineraalivillojen soveltuvuus voidaan lopullisesti ratkaista, on koetoimintaa vielä jatkettava ja selvitettävä oikea eristerakenne ja sen toiminta kaikissa mahdollisissa kosteus- ja kuormitustilanteissa.

Kevytsora valmistetaan pyörivässä uunissa paisutetusta savesta n. 1 200° C lämmössä. Savirakeet sisältävät huokosia, mutta niiden pinta sintraantuu lasimaiseksi, joten ne eivät sanottavasti ime kosteutta. Kevytsoraa käytetään tienrakennuksessa yleensä sellaisenaan, mutta siitä voidaan myös

valmistaa kevytbetonia sekoittamalla siihen sementtiä ja vettä ja joskus myös hiekkaa tai hietaa. Laihojen kevytbetoniseosten ja myös bitumin käyttöä kevytsoran muuten heikosti kantavan pinnan lujittamiseksi on tutkittu mm. Oulun yliopistossa. Suoritetuista kokeista käy ilmi, että verrattain pienillä sideainemäärillä saadaan aikaan tuntuva kantavuusarvojen paranemista ja näin eriste voidaan sijoittaa lähemmäksi tien pintaa. Tällöin myös tienrakenteen kokonaispaksuus pienenee, millä seikalla on rakennuskustannuksia alentava vaikutus ja tärkeä merkitys pehmeikköalueilla vakavuus- ja painumaongelmia ratkaistaessa.

Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen tielaboratorio on laatinut mitoituskäyrästön Leca-soran tarvittavan paksuuden määrittämiseksi. Helsingin seudulla roudan läpituokeutumisen estävän eristeen paksuus vaihtelee tutkimuksen mukaan vesipitoisuudesta ja eristeen päälle tulevan rakenteen paksuudesta riippuen n. 45...75 cm ja Oulun seudulla n. 65...100 cm. Näissä paksuuksissa on vtt:n mukaan n. 1.2 kertainen varmuus. Oulun yliopiston tutkimuksissa on päädytty Helsingin seudulla vain n. 20 cm ja Oulun seudulla n. 30 cm paksuusiin. Käytännössä voitaneen tarvittava eristepaksuus valita näiden arvojen välistä. Yleisesti ottaen kevytsora soveltuu verrattain hyvin tien lämpöeristeeksi, koska useissa tapauksissa voidaan yht'aikaa käyttää hyväksi sen eristyskykyä ja alhaista tilavuuspainoa. Esimerkiksi routivilla pehmeikköillä ja varsinkin niiden ja kantavan maan

rajakohdissa (siirtymäkiiloissa) voidaan pienentää samanaikaisesti sekä painuma- että routimishaittoja. Kevyt-sorien varjopuolena on kuitenkin mainittava hankalahko levitystyö ja subteellisen suuri teoreettinen lämmönjohtoluku, joka lisäksi kasvaa noin kaksinkertaiseksi kevytsoran joutuessa tiessä normaalisti vallitseviin kosteusolosuhteisiin. Näin ollen tarvittavat rakenteet muodostuvat paksuiksi ja kalliiksi.

Lastuvillalevy valmistetaan puulastuista ja sementistä. Puuaineen ja sementin suhde on n. 1:2. Höyläyty lastut kyllästetään lahosuoja-aineella, jonka jälkeen ne sekoitetaan sementin ja veden kanssa betonimyllyn tyyppisessä sekoittimessa. Tämän jälkeen ne puristetaan levyiksi joko horisontaalista ja vertikaalista tai vain vertikaalista puristusta käyttäen. Edellinen tapa on parempi, sillä myös levyjen reunat tulevat lujiksi. Lastuvillalevyt soveltuvat erittäin vähän kokoonpuristuvina, verrattain pitkäikäisinä ja lahoamattomina verrattain hyvin tien lämpöeristeiksi. Tie- ja vesirakennushallituksen toimesta viime talvina suoritettujen kokeilujen perusteella se on jopa yksi parhaista lämpöeristeistä, sillä se ei menetä muotoaan eikä eristystehoaan joutuessaan tien rungon kuormitus- ja kosteusolosuhteisiin.

Vaahtomuovit ovat uusimpia eristeaineita maassamme. Ne valmistetaan pentaaniakaasua sisältävistä polystyreenimuovirakeista, jotka kuumen höyryn vaikutuksen alaisena paisuvat kuuminenasteesta riippuen. Paisutetut, muotteihin sijoitetut rakeet hitsautuvat toisiinsa kiinni toisen vaiheen

höyrykäsittelyssä. Tällöin muodostuu $50 \times 100 \times 200 \dots 400 \text{ cm}^3$ suuruisia plopeja, jotka voidaan leikata haluttuun muotoon. Koetointia vaahtomuovien soveltuvuudesta tienrakenteisiin on Suomessa vasta alussa, mutta jo tähän mennessä saadut tulokset vaikuttavat lupaavilta. Yhdysvalloissa on vaahtomuovia menestyksellisesti käytetty teiden routaeristeenä useita vuosia. Vesi ei käytännöllisesti katsoen lainkaan tunkeudu vaahtomuoviin. Tästä johtuen sen eristysteho on riippumaton tien rungon vaihtelevista kosteusuhteista, ja ainetta onkin pidettävä tällä hetkellä parhaiten tienrakennukseen soveltuvana eristeenä.

Muitakin kuin edellä esitettyjä eristysaineita on pyritty soveltamaan tienrakennuskäyttöön. Näistä mainittakoon ns. märkäeristeinä käytettävät puu, turve, kaarna ja sahajauho, jotka kaikki kuitenkin ovat laholle alttiita ja edellyttävät verrattain suuritoisia esikäsitteilyjä, ennen kuin niitä voidaan käyttää tienrakenteisiin. Tästä johtuen niiden kokeellinenkin käyttö on viime vuosina ollut vähentyvää. Tasapuolisuuden vuoksi on kuitenkin korostettava, että nämä eristysaineet ovat usein materiaalin hinnaltaan erittäin edullisia ja, mikäli niiden jatkokäsittely ja työstö saataisiin esim. suuren kulutuksen voimalla halvemmaksi ja helpommaksi, saattaisivat nämä materiaalit muodostua täysin kilpailukelpoisiksi aikaisemmin esiteltyjen eristysaineiden kanssa.

Myös koksikuonaa ja kevytbetonimursketta on käytetty joissakin kokeiluissa tien lämpöeristeenä, mutta näiden laajamittaisemman käytön esteenä

on materiaalien rajoitettu ja ajallisesti epätasainen tuotanto. Muutenkaan kokeilut eivät ole olleet erityisen rohkaisevia.

2.324 YHTEENVETO

Tärkeimpien eristysaineiden teknilliset tiedot on koottu taulukkoon 15. Niistä materiaaleista, joita valmistetaan useita eri tyyppinä, on otettu vain se tai ne tyypit, jotka soveltuvat parhaiten tienrakenteisiin.

Taulukossa on likimain arvioitu eräiden eristeiden Etelä-Suomessa tarvittava rakennepaksuus lähinnä Helsingin ja Jorvaksen välisellä moottoritiellä suoritettujen kokeiden perusteella ja laskettu sitten tämän paksuisen eristeen neliöhinta. Neliöhinnat ovat verrattain samansuuruiset. Jotta eristysaineiden keskinäinen paremmuus voitaisiin ratkaista, onkin käynnissä

olevaa koetoimintaa jatkettava ja selvitettävä tarkemmin kunkin eristysaineen vaatima rakennepaksuus ja muut eristeen toimintaan liittyvät seikat. Tässä mielessä olisi ensisijaisesti selvitettävä tien rungon vesipitoisuuden vaihtelualueet ja lämpöeristeiden kaikkien merkittävien ominaisuuksien vaihtelut kyseeseen tulevissa paine- ja kosteusolosuhteissa. Vasta tämän jälkeen voidaan ratkaista, mitä lämpöeristeitä on vastaisuudessa edullisinta käyttää laajenevassa routahaittojen torjuntatoiminnassa.

2.33 KAIVANTOJEN TÄYTTÖMATERIAALIT

Seuraavassa käsitellään vain materiaali vaatimuksia. Työteknilliset ohjeet ja vaatimukset on esitetty tvh:n tienrakennustöiden yleisessä työselityksessä.

Taulukko 15. Eristysaineiden teknilliset tiedot ja kustannukset.

	Lämmönjohtoluku λ (kcal/mh °C) kuivana	Tilavuuspaino γ (kg/dm ³)	Kokoontuotus-% kuivana 1...2 t/m ² kuormituksella	Vähittäismyyntihinta (mik/m ²) (5 cm paksuus)	Tarvittava paksuus (cm)	Kokonaishinta (mik/m ²)
Lasivillat						
OTSOLEVY- ...	0.03	0.13	3...6	10.00	—	—
Kivivillat						
Routalevy	0.03	0.15	7...13	7.50	—	—
Lastuvillalevy	0.07	0.28	0...1	4.60	10	9.20
Kevytsora						
0...20 mm	0.08	0.35	—	1.50	30	9.—
Vaahtomuovit						
STYROX P30 ..	0.026	0.30	0...1	7.90	5	7.90
STYROX P40 ..	0.026	0.40	0...1	10.50	5	10.50

2.331 VESIJOHDOT JA VIEMÄRIT

Tiealueella

Ajoradan alle jäävillä johto-osuuk-
silla tehdään putkien asennuksen jäl-
keen alkutäyttö kivettömällä, hyvin
tiivistyvällä soralla tai hiekalla. Alku-
täyttöön käytettävässä materiaalissa
saa olla yksittäisiä, enintään 50 mm
suuruisia kiviä. Jos perusmaa on save-
ta tai hiesua, tehdään alkutäyttö kui-
tenkin kivettömän perusmaan ja sepe-
lin seoksesta. Perusmaan ollessa savea
käytetään seossuhteena 50 % savea,
50 % sepeliä ja perusmaan ollessa hie-
sua käytetään seossuhteena 30 % hie-
sua, 70 % sepeliä. Sepelin sopiva rae-
koko on esim. 10...20 mm.

Valmiin, tiivistetyn alkutäytön tulee
ulottua vähintään 10 cm putken laen
yläpuolelle.

Mikäli on pelättävissä, että putkien
ulkopuolella tapahtuu haitallista ve-
denvirtausta, on putken ympärillä
oleva vettä läpäisevä maakerros kat-
kaistava noin 20 m välein tiiviillä,
1 metrin pituisella savi- tai moreeni-
sululla, joka ulotetaan 30 cm pohja-
veden pinnan yläpuolelle. Myös put-
ken alla mahdollisesti oleva läpäisevä
arina katkaistaan. Putkien pohjanvah-
vistuksena käytettävä puuaines ympä-
röidään aina savella.

Lopputäytössä ei saa käyttää ulottu-
maltaan yli 20 cm suuruisia kiviä,
paitsi matalissa kivipenkereissä silloin,
kun pengeri jatkuu yhtenäisenä kai-
vannon yli. Tällöin on kuitenkin put-
ken yläpinnan ja kivipenkereen väliin
jätettävä vähintään 20 cm sorakerros.

Perusmaan ollessa soraa, hiekkaa,
hietaa, sora-, hiekka- tai hietamoreenia
suoritetaan lopputäyttö rakennekerros-
ten alarajaan saakka perusmaata vas-
taavalla materiaalilla (kaivumaalla).

Perusmaan ollessa savea, hiesua,
savi- tai hiesumoreenia käytetään ajo-
radan alle tulevilla viemäriosuuk-
silla lopputäyttöön perusmaan ja sepe-
lin seosta, niinkuin alkutäytön yhteydessä
on esitetty.

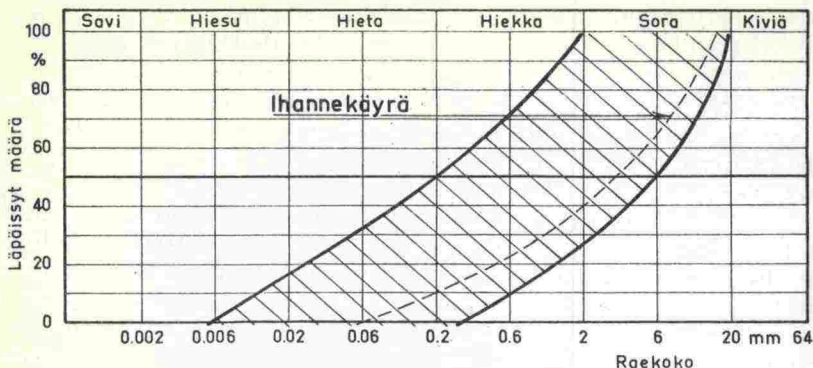
Kalliokaivannot ja kivipenkereessä
olevat kaivannot täytetään soralla
muualla paitsi ajoradan alla, jossa lop-
putäyttö tehdään hienolla louheella
tai murskeella esim. 0...200 mm.

Tiealueen ulkopuolella

Tierungon ulkopuolella suoritetaan
alkutäyttö kivettömällä kaivumaalla.
Jos kaivumaat ovat kivistä maata, tur-
vetta tai liejua, korvataan ne alkutäy-
tössä muilla maalajeilla esim. kivi-
kossa ja kalliolla soralla tai hiekalla
ja kahdessa jälkimmäisessä tapauk-
sessa savella. Jos samaan kaivantoon
asennetaan myös vesijohto, eikä sitä
voida asettaa luonnolliselle pohjalle,
on putken alus täytettävä vastaavan-
laisella maalla vaadittuun korkeuteen
saakka. Täyttöä jatketaan käyttäen ki-
vetöntä täyteä vähintään 30 cm
putkien yläpuolelle. Kaivannon loppu-
täyttö tehdään kaivumailla. Kaivan-
toon ei kuitenkaan saa sijoittaa yli 20
cm suuruisia kiviä.

Muovi-putkien yhteydessä
käytettävä täyttö-
materiaali

Viettoputket. Muovisen viettoput-
ken ympärillä olevan täyttömaan on



Kuva 34:

Muoviputken alkutäyttömateriaaliksi sopivan maan rakeisuusalue (amerikkalaiseen ASTM n:o D 2321—64 T perustuen).

tuettava taipuvasta materiaalista tehtyä putkea. Sen vuoksi on täyttömateriaalina käytettävä maa-ainesta, joka on helposti tiivistyvää ja jossa sopivaa täyttötapaa käyttäen kehittyvä tarpeellinen, pysyvä passiivinen maanpaine. Kuvassa 34 on esitetty RIL:n muoviputkinormitoimikunnan ehdottama muoviputken suojamateriaalin rakeisuusalue. Suojamateriaalin rakeuskäyrän tulee lisäksi seurata suunnitteen kuvaan piirretyn ohjekäyrän muotoa.

Suojamateriaalista rakennetaan muoviputkien alle vaikeissa ja normaaleissa rakennusolosuhteissa tarvittava tasauskerros ja putken ympärille aina tuleva alkutäyttö eli suojakerros. Suojakerroksen tulee ulottua vähintään 15 cm putken laen yläpuolelle. Tasauskerroksen paksuus on asennusolosuhteista riippuen 10...20 cm. Sitä ei saa rakentaa teräväsärmäisestä kiviaineksesta, joka aiheuttaisi putken pintaan naarmuuntumista.

Mikäli normaaleissa rakennusolosuhteissa kaivannon pohjalla ei ole kiviä (> 20 cm) saadaan putket asentaa tasoitetulle luonnontilaiselle pohjamaalle (ilman tasauskerrosta). Helppoissa rakennusolosuhteissa putki asennetaan aina tasatulle maapohjalle ilman tasauskerrosta.

Suojakerroksen yläpuolelle tuleva täyttö on vaikeissa rakennusolosuhteissa (mm. tiet, katu- ja paikoitusalueet yms.) tehtävä maalajeista, jotka voidaan tiivistää paikallisten olosuhteiden edellyttämään tiiviyteen. Täytemaalajia valittaessa tulee kiinnittää huomiota mahdolliseen epätasaiseen routimiseen. Kaivannon täyttämiseen ei saa käyttää lohkarkeitä eikä louhosta.

Normaaleissa ja helppoissa olosuhteissa suojakerroksen yläpuoliseen täyttöön käytetään kaivannosta poistettuja maalajeja, mikäli ne täyttävät paikallisten olosuhteiden asettamat vaati-

mukset. Täytemaassa ei saa esiintyä lohkkareita.

Talojohtoja tms. pieniä putkia asennettaessa voidaan putkien ympärillä käyttää muutakin kivetöntä maalajia kuin kuvassa 34 esitettyä suojamateriaalia. Tämä maalaji on tiivistettävä putken ympäriltä voimakkaasti jalojn polkemalla.

Paineputket. Muovisia paineputkia asennettaessa käytetään putkien suojaamiseen ja kaivannon täyttöön pääasiassa samoja materiaaleja kuin vieto-putkien yhteydessä on esitetty.

Kalliroleikkaukseen tai kivi- ja lohkkarepitoiseen maalajiin tehtyyn kaivantoon asennettaessa rakennetaan kaivannon pohjaan tasauskerros suojamateriaalista. Kivettömissä (< 20 cm) maalajeissa paineputki voidaan asentaa välittömästi tasatulle kaivannon pohjalle.

Suojakerros putkien ympärillä rakennetaan em. suojamateriaalista. Kivettömissä maalajeissa voidaan putki suojata myös kaivannosta poistetulla kivettömällä maalla.

Muoviputkijohtojen yksityiskohtaiset asennusohjeet erilaisissa rakennusolosuhteissa on esitetty Suomen Rakennusinsinöörien Liiton muoviputkinormitoimikunnan laatimissa maahan ja veteen asennettävien putkijohtojen väliaikaisissa rakennusohjeissa.

2.332 RUMMUT

Betoniputkirummut

Rummun ympärystäyttöön käytetään routimatonta materiaalia, jossa ei saa

olla 100 mm suurempia kiviä eikä orgaanisia aineita. Mikäli täyttö on osa siirtymäkiilasta, noudatetaan materiaalin suhteen, mitä siirtymäkiilojen yhteydessä on sanottu. Ympärystäyttö ulotetaan vähintään 60 cm rummun sivuille ja päälle, ks. osa IV kohta 3.62.

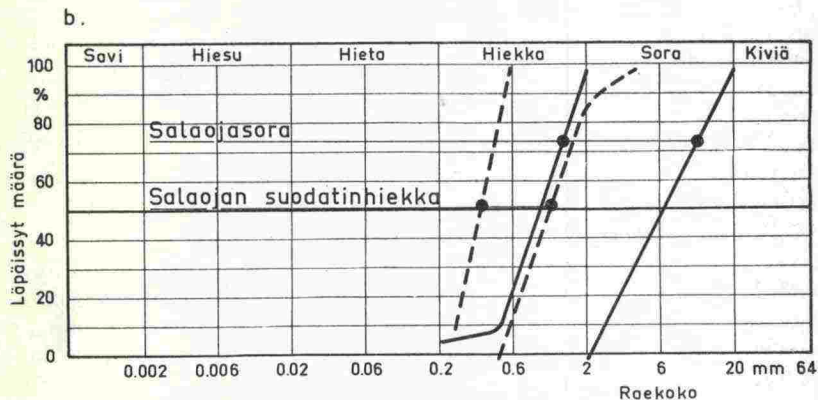
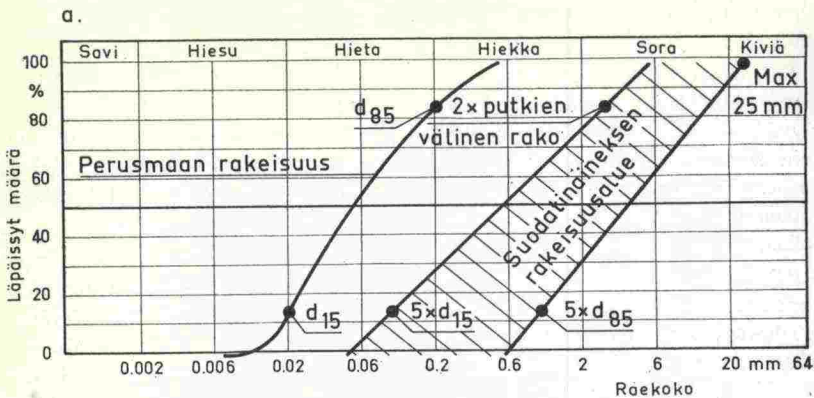
Epätasaisten painumien välttämiseksi on osaksi tai kokonaan normaalin maanpinnan yläpuolella olevien rumpujen ympärystäyttö tehtävä niin, että täytön leveys putken päällä on vähintään kaksi kertaa putken halkaisija ja luiskien kaltevuus 1:3. Lisäksi on otettava huomioon, mitä siirtymäkiilojen yhteydessä on sanottu.

Kalliokaivantoon tulevan rummun kohdalla kaivannon pohja tasataan soralla.

Aaltolevyputkirummut

Aaltolevyputkirumpujen kaivannot täytetään vähintään jakavan kerroksen materiaalin laatuvaatimukset täyttävällä soralla, joka ei saa sisältää läpimitaltaan yli 50 mm suurempia kiviä.

Ohuina kerroksina tiivistettävän rummun ympärystäytön on ulotuttava vähintään niin korkealle, että sylinterimäisistä putkista ainoastaan 1/3 jää peittämättä. Matalarakenteisten rumpujen yhteydessä on em. ympärystäytön osuuden ulotuttava 30 cm yli putken laen. Lopullisen ympärystäytön yläpinnan leveyden on sylinterimäisissä rummuissa oltava 2,5 kertaa putken halkaisija ja matalarakenteisissa rummuissa vähintään 2 kertaa rumpu-



Kuva 35:

a. Salaojan suodatinsoran teoreettinen ohjerakeisuusalue.

b. Salaojasoran ja erillisen suodatinhiekan rakeisuusalueet tvb:n työselitysten mukaan.

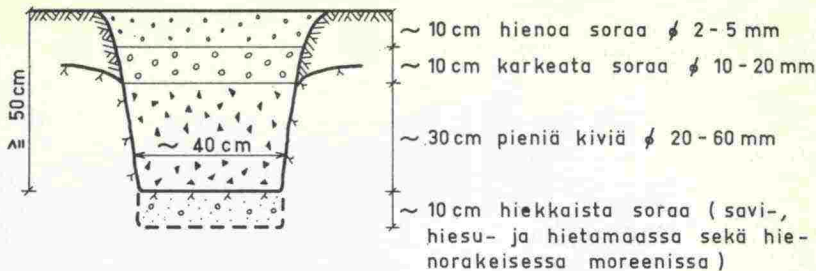
putken leveys. Valmiin ympäristäytön luiskan kaltevuuden on oltava 1:3. Rumpuputkien päällä on tällöin oltava vähintään 60 cm paksuudelta soraa.

Rummun päälle tuleva ensimmäinen metrin paksuinen peitemaakerros on tehtävä sorasta tai hiekasta.

2.333 SALAOJAT

Tiiliputkisalaojat

Salaojat peitetään sivulta ja päältä vähintään 15 cm paksuudelta salaojasoralla (alkutäyttö). Salaojasoran ihannealueen tulisi täyttää seuraavat teoreettiset laatuvaatimukset:



Kuva 36:
 Sora- ja kivilsalaojan poikkileikkaus.

$$5 \times d_{85} > D_{15} > 5 \times d_{15}$$

$$D_{15} \geq 0.1 \text{ mm}$$

$$D_{85} > 2 \times \text{suurin sallittu}$$

putkien välinen rako

$$D_{100} < 25 \text{ mm}$$

D_{15} suodatinaineksen läpäisy-% 15 vastaava raekoko.

d_{15} perusmaan läpäisy-% 15 vastaava raekoko (kuva 35 a).

Käytännössä käytetään yleensä kuvan 35 b vaatimukset täyttävää salaojasoraa (tienrakennustöiden yleinen työselitys).

Mikäli perusmaa on savea, hiesua, hienoa hietaa tai hienorakeista moreenia, on salaoja sorapeitteineen ympäröitävä vähintään 5 cm vahvuisella suodatinkerroksella. Suodatinkerroksen materiaalin ohjerakeisuus saadaan em. teoreettisia vaatimuksia soveltaen, yleensä voidaan käytännössä soveltaa kuvassa 35 esitettyjä vaatimuksia. Salaojiin liittyvät sorasaarrot ja -silmäkkeet tehdään em. salaojasorasta.

Edellä olevan lisäksi noudatetaan salaojakaivantojen täytössä soveltuvin

osin, mitä vesijohto- ja viemärikaivantojen täytön yhteydessä on sanottu.

Muoviputkisalaojat

Muoviputkisalaojat voidaan peittää samoilla materiaaleilla kuin tiiliputkisalaojat. Mikäli salaojasoraa ei ole saatavissa, voidaan salaojan suodatinaineena käyttää myös lasivillamattoa. Täytön yhteydessä on lisäksi noudatettava erikseen annettavia ohjeita.

Sora- ja kivilsalaojat

Sora- tai kivilsalaojan pohja tehdään noin 40 cm leveäksi (kuva 36). Jos salaoja ulottuu kallioon saakka, tasoitetaan pohjan syvennykset louhimalla ja esim. rakennuksen perusmuurin läheisyydessä vielä betonilla ojan laskusuuntaan tasaisesti kaltevaksi. Kivilsalaojan täytteenä on alimpana noin 30 cm paksuinen kerros pieniä kiviä (ϕ 20...60 mm), sitten 10 cm paksuinen kerros karkeata sora ja ylimpänä 10 cm paksuinen kerros hiekaista sora. Savi-, hiesu- ja hietamaassa tehdään myös kivikerroksen

alle luonnonmaata vastaan 10 cm paksuinen arina hiekkaisesta sorasta. Sorasalaajassa em. kivikerros korvataan karkealla soralla. Ylempien kerrosten täyttö suoritetaan samojen periaatteiden mukaan kuin muissakin salaajissa.

2.334 KAAPELIT

Tiealueella kaapelit suojataan putkilla, ja kaivannot täytetään samoilla materiaaleilla kuin vesijohto- ja viemärikaivannot. Maastossa kaapelikaivannon pohja tasoitetaan kallio- ja kivikoleikkauksissa hiekka- tai hienosorakerroksella, jonka paksuus on vähintään 10 cm, kun on kyseessä muovijohdot ja vähintään 5 cm muunlaista johtoa käytettäessä. Viettävisä kallioleikkauksissa ja muuallakin, missä on olemassa huuhtoutumisvaara, tehdään pohjan tasoituskerros vähintään 15 cm paksuiseksi. Peitekerros, joka ulotetaan vähintään 10 cm muovijohdon ja 5 cm muunlaisen johdon yläpuolelle, tehdään hiekasta tai hienosta sorasta sekä kallio- että maaleikkauksissa.

Peitekerroksen päälle pannaan routimatonta täytettä niin, että se ulottuu 15 cm kaapelin tai kaapelin suojauskerroksen yläpuolelle. Täytteessä ei saa olla 50 mm suurempia kiviä.

Lopputäyttö tehdään materiaalista, jossa ei ole 20 cm suurempia kiviä. Kaapelikaivantojen täytemateriaalissa ei saa olla kalkkia, laastia tai tuhkaa.

Mikäli on syytä pelätä, että kaapelikaivanto toimii salaajana, on läpäisevä täyttökerros katkaistava tiiviillä savitai moreenivyöhykkeellä, kuten vesijohto- ja viemärikaivantojen yhteydessä on esitetty.

2.335 KAIVOT

Kaivojen sekä venttiilien, palopostien yms. suojaputkien ympärille tehdään routimattomasta maasta vähintään 0.3 m levyinen täytevyöhyke, joka ulottuu vesijohtojen routarajasta maanpintaan. Muuten kaivojen ympärys täytetään noudattaen soveltuvin osin, mitä edellä on sanottu viemäri- ja salaajakaivantojen täytöstä.

2.336 SIIRTYMÄKIILAT

Siirtymäkiilan tekemiseen voidaan käyttää suodatin-, eristys- ja/tai jakavan kerroksen kiviainesta (kohta 2.21...2.22) sekä louhetta ja mursketta. Kallioleikkaukseen liittyvän siirtymäkiilan osa, jonka tarkoitus on vähentää jyrkän kallioseinämän vaikutusta, tehdään aina louheesta, karkeasta murskeesta tai sepeleistä.

Hienojakoisen pohjamaan ja karkean täytemateriaalin välissä on käytettävä suodatin- ja/tai eristyskerrosta pohjamaan laadun mukaan. Käytettäessä louhetta täyttömateriaalina on täytteen pintaosa tiivistettävä pienempikivisellä louheella ja murskeella kivipenkereen tekemisestä annettujen ohjeiden mukaan. Jos siirtymäkiila täytetään samassa kerroksessa kahdella kantavuusominaisuuksiltaan erilaisella materiaalilla, esim. louheella ja soralla, tulee näiden rajapinnan kaltevuuden olla enintään 1:4 ja rajapinnan on oltava kohtisuorassa tien suuntaa vastaan. Siirtymäkiilojen rakenne eri tapauksissa on esitetty osassa IV, kohta 3.171.

Lukua 2 koskevaa kirjallisuutta

- Arhippainen, E. Maapadot. Maa- ja vesirakennus. Vammala 1968.
- Bygg Del I. Stockholm 1961.
- Jerbo, A. ja Å. Sundequist. Mineralullisolering vid järnvägar. Meddelande från S. J. Centralförv. Geotekniska kontoret. 1965:10.
- Jännes, E. Lämpöeristeet tien routasuojana. Teknillisen korkeakoulun diplomityö. 1966.
- Kjärnsli, B. Prosjektering av fyllningsdammer. Den norske ingeniørförening, kursavdelning 1960.
- Koivula, A. S. Kuljunlahden makeavesiallas. Rakennustekniikka 1964:7.
- Insinööritoimisto Maa ja Vesi Oy. Salaojien aine- ja työselitys. Helsinki 1967.
- Insinööritoimisto Maa ja Vesi Oy. Ulkovesijohtojen ja viemäreiden aine- ja työselitys. Helsinki 1968.
- Rakentajain Kalenteri v. 1967.
- RIL:n muoviputkinormitoimikunta. Maahan ja veteen asennettavat muoviputket. Putkijohtojen rakennusohjeet. Väliaikaiset. Moniste. (Ei julkaistu.) 1969. Suomen Asetuskokoelma N:o 296—297 (RIL 53. Betoninormit. Vammala 1967).
- Suomen Rakennusinsinöörien Liiton ja Suomen Betoniyhdistyksen asettaman Kiviainesnormitoimikunnan ehdotus betonin kiviaineksen luokitusohjeiksi sekä näihin liittyviksi kiviainesten tutkimusohjeiksi.
- Terzaghi, K. ja R. B. Peck. Die Bodenmechanik in der Bauparaxis. Sprihger, Berlin 1961.
- Tie- ja vesirakennuslaitos. Tienrakennustyöt, Yleinen työselitys, 1967.
- VA AMA-kommittén. VA AMA 1966. Allmän material- och arbetsbeskrivning för yttre vatten- och avloppsarbeten jämte råd och anvisningar. Södertälje 1966.
- Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen aineenkoetusselostukset n:ot A 1269/61, A 3794/62, A 3445/67, A 3714/67.
- Zweck, H. Versuchsergebnisse über die Zusammensetzung von Filtern. Mitteilungsblatt der Fundeanstalt für Wasserbau 1959:12.

3. MASSOJEN KÄYTÖN SUUNNITTELU

Rakennussuunnitelman eräs osa on massansiirto- ja materiaalin hankintasuunnitelma. Sen yhteydessä tehtävä massataloudellinen suunnittelu ei saa jäädä passiiviseksi ja muuta suunnittelua palvelemattomaksi tilanteen tarkasteluksi.

3.1 Massatalouden käsitteestä

Massataloudellisella suunnittelulla ymmärretään sitä osaa suunnittelussa, jossa kyseessä olevaa hanketta tarkastellaan massojen teknillis-taloudellisen käytön määrittelemältä näkökulmalta. Tällöin siis sellaiset tekijät, joiden huomioonottaminen edistäisi maa- ja kalliomassojen taloudellisempaa käyttöä, irrottamista, siirtoa ja kiinnittämistä, pyrkivät vaikuttamaan sekä tuotanto- että tuotesuunnitteluun. Yleensä on massataloudellisesti asennoituvalla tarkastelulla eniten merkitystä rakennussuunnittelu- ja työsuunnitteluvaiheissa.

Massatasapainon ymmärretään valitsevan silloin kun kaikki tielinjalta irrotettu käyttökelpoinen maa- ja kiviaines voidaan kiinnittää rakenteeseen tarkoituksenmukaisesti sekä kaikki rakenteeseen kiinnitettävä maa- ja kiviaines saadaan tarkoituksenmukaisella tavalla tielinjalta. Massataloudellisesti edullisin ratkaisu ei välttämättä edellytä, että massatasapaino tässä mielessä vallitsee. Massataloudellinen optimi ja massatasapaino eivät aina ole sama asia. Täydelliseen, koko tien käsittävään massatasapainoon pyrkiminen ei

Mitä vähemmän massoja, mitä lyhyemmät siirtomatkat, mitä paremmat materiaalit ja mitä vähemmän kelpaamattomia materiaaleja joudutaan käsittelemään, sitä pienemmät rakennuskustannukset; ja tähän massojen käytön suunnittelulla pyritään.

massataloudellisessa mielessä ole aina järkevää, koska tällöin voidaan joutua linjalta irrotettujen materiaalien väli-varastointiin, vaikeisiin työsuunnitteluongelmiin tai epätarkoituksenmukaisiin kuljetuksiin. Sen sijaan ongelman tarkastelu pienempien massatalousalueiden tai tienosien puitteissa saattaa johtaa massataloudellisesti hyvään ratkaisuun pelkästään massatasapainoonkin pyrkimällä.

Massataloudelliseen suunnitteluun kuuluu tien rakentamisen yhteydessä käsiteltävien maa- ja kiviainesten käyttökelpoisuuden teknillis-taloudellinen arvostelu ja tämän perusteella niiden käyttötarkoituksen määrittäminen sekä massansiirtosuunnitelman laatiminen; materiaalien määrän ja laadun tuntemisen ohella on myös niiden työteknillisiin ominaisuuksiin vaikuttavien olosuhdetekijöiden tunteminen tai niiden ennustaminen tarvittavan tarkasti tärkeätä. Jos massataloudellinen suunnittelu on pelkästään ns. massakäyrän piirtämistä kiinnittämättä huomiota massojen laatuun ja niiden käyttökelpoisuuteen, ei tällaisella suunnittelulla voi olla kuin korkeintaan suuntaa antava merkitys.

3.2 Maarakennustöiden kustannukset tienrakennustöissä

Päällysrakenneluokan mukaan on kantavan kerroksen ja päällysteen osuus tien rakennuskustannuksista 10...30 %. Leikkaus- ja pengerrystöiden (kantavan kerroksen alapintaan saakka) osuus rakentamiskustannuksista on 40...60 % riippuen massan paljoudesta ja siirtomatkoista sekä maaperän laadusta ja tieluokasta. Rai-vauksen, pohjavahvistustöiden, ver-
housien, siltatöiden yms. osuus raken-
tamiskustannuksista vaihtelee arviolta 20 ja 30 % välillä. Viimeksi mainitut työt mukaanlukien muodostuu suu-
ruusluokaltaan 50...70 % rakennus-
kustannuksista sellaisista rakenteista,
joihin massataloudellisessa suunnitte-
lussa tulee kiinnittää huomiota.

Mitä korkeampiluokkaisesta tiestä

on kysymys, sitä pienemmässä määrin suhteellisesti voidaan massataloudelli-
sella suunnittelulla vaikuttaa raken-
nuskustannuksiin, koska päällysraken-
teen yläosan sekä ylikulkusiltojen kus-
tannusten osuus kasvaa suhteellisesti
liikenneteknillisten vaatimusten kas-
vaessa. Moottoriteillä saattaa päälly-
rakenteen yläosan ja ylikulkusiltojen
rakentamiskustannukset olla 40...
50 % tien rakentamiskustannuksista.
Massataloudellisen suunnittelun mer-
kitys ei kuitenkaan vähene, sillä abso-
luuttisten kustannusten kasvaessa pie-
netkin prosentuaaliset säästöt ovat
arvokkaita.

Rakentamiseen liittyvä massatalou-
dellinen suunnittelu on lähinnä mas-
sojen siirron ja käsittelyn suunnittelua

Taulukko 16. Rakennuskustannusten jakautuma tietyössä välillä Jyväskylä—Petäjävesi.

Kustannuslaji	% kokonaiskustannuksista
Metsänhakkuu, raivaus ja purku	3
Rumputyöt pohjanvahvistukseen	3
Ojitustyöt	1
Pohjanvahvistustyöt (ilman täyttömassoja)	5
— josta pehmeikköjen kaivu	4
Leikkaus- ja pengerrystyöt	49
— maaleikkaus tielinjalta	19
— maaleikkaus varamaapaikoilta	9
— jakava kerros varamaapaikoilta	6
— suodatin- ja eristyskerros varamaapaikoilta	5
— kallioleikkaukset tielinjalta	10
Kantava kerros	14
Päällyste (ei sis. urakoihin)	14
Luisuverhoukset	2
Sillat (ei sis. ylikulkusiltoja)	2
Muut työt (liittymät, kaapelit, taitotyöt, liikenteenjärj. yms.)	7

ja kytkeytyy näin elimellisesti työn- suunnitteluun. Kuljetusten suuri osuus massankäsittelykustannuksista johtaa- kin siihen, että rakentajan suhde massataloudelliseen suunnitteluun mää- räytyy suuressa määrin kuljetustalou- dellisten näkökohtien perusteella (nor- maaliolosuhteissa).

Ruotsissa on erään tienrakentamista koskevan tutkimuksen yhteydessä ke- rätty tietoa myös siitä, miten paljon on eri työvaiheiden osuus eri työkoh- teiden kokonaiskustannuksista; eri työ- vaiheisiin on todennäköisesti laskettu mukaan myös niitä avustavat työt. Tutkimuksen mukaan olisi leik- kaus- ja pengerrystyössä leikkauksen koon ja maalajien mu- kaan eri työvaiheiden osuudet työ- kohteen kokonaiskustannuksista keski- määrin seuraavat:

— irrotus, kuormausta ja luiskan tasaus	26 . . . 31 %
— kuljetus (L = 1 km)	40 . . . 47 %
— vastaanotto ja levitys	14 . . . 16 %
— tiivistäminen, pinnan ja luiskan tasaus	11 . . . 15 %

Kelpaamattomien massojen kaivussa ovat eri työvaiheiden osuudet työkoh- teen kokonaiskustannuksista keskimää- rin seuraavat:

— kaivu ja kuormausta	29 %
— kuljetus (L = 1 km)	57 %
— vastaanotto	8 %
— tasaus	6 %

Matalalouhinnan osalta ovat vastaa- vat luvut seuraavat:

— irrotus, kuormausta, rusnausta	64 %
— kuljetus (L = 1 km)	22 %

— vastaanotto penkereeseen ja luiskan tasaus	14 %
--	------

Tie- ja vesirakennushallituksen laa- timien kustannusstandardien mukaan jakautuvat eri työvaiheiden kustan- nukset eräissä tapauksissa seuraavasti:

Leikkaus- ja pengerrystyö (K:3):

— irrotus, kuormausta ja muo- toilu	48 %
— kuljetus (L < 1 km)	23 %
— vastaanotto, tiivistäminen ja muotoilu	29 %

Maapenger varamaasta (K:3):

— hankinta, irrotus ja kuor- mausta	38 %
— kuljetus (L = 5 km)	40 %
— vastaanotto, tiivistäminen ja muotoilu	22 %

Kivipenger:

— irrotus, kuormausta ja muo- toilu	69 %
— kuljetus (L = 1 km)	13 %
— vastaanotto, tiivistäminen ja muotoilu	18 %

Jakava kerros varamaasta (K:2):

— hankinta, irrotus ja kuor- mausta	31 %
— vastaanotto, levitys ja tii- vistys	21 %
— kuljetus (L = 10 km)	48 %

Eristys- ja suodatinkerros varamaasta (K:2):

— hankinta, irrotus ja kuor- mausta	29 %
— vastaanotto, levitys ja tii- vistys	13 %
— kuljetus (L = 10 km)	58 %

Suomalaisissa laskelmissa käytetyt hinnat on laskettu valtionhallinnon maarakennusalan kustannusstandardien perusteella (Tvh, Tk-ryhmä, lokakuu 1967). Sosiaalikulutukset sekä 16.

3.3 Massojen laatuun ja käyttökelpoisuuteen vaikuttavista tekijöistä

Massojen laatuominaisuudet määrittelevät niiden rakennus- ja työteknillisen käyttökelpoisuuden; ja nimenomaan työstöhetkellä vallitsevilla laatuominaisuuksilla on suuri vaikutus työteknilliseen käyttökelpoisuuteen.

Tienrakennuksessa maalajit on jaettu raecominaisuuksiensa mukaan rakennusteknillisiin käyttökelpoisuusluokkiin (kantavuusluokat A...F), joiden perusteella tien alusrakenteen ja päällysrakenteen alaosan rakennusteknillinen mitoitus suoritetaan (ks. kohta 1.2). Mitoitusmenetelmä pohjautuu maaperän ja maalajien routivuuden ja kantavuuden arvosteluun. Koska tämä menettely ei ota huomioon riittävässä määrin sellaisia seikkoja, jotka vaikuttavat maalajin työstettävyyteen, on tässä rakennusteknillisen käyttökelpoisuuden rinnalle otettu käsite työteknillinen käyttökelpoisuus.

Sama materiaali voi olla rakenteseen eri olosuhteissa täysin soveltu-matonta, tietyin toimenpitein soveltu-vaksi saatettavaa tai hyvin soveltu-vaa.

Materiaalin työteknillinen käyttö-kelpoisuus riippuu sen

1. 1968 annetuissa vuokrattujen koneiden enimmäisohjeuokkia koskevassa julkaisussa esitetyt uudet hinnat on otettu huomioon.

- irrotettavuudesta
- käsiteltävyydestä (murskaus, seulonta, kuljetus yms.) ja
- kiinnitettävyydestä.

Näihin vaikuttavat raecominaisuuksien lisäksi mm. maan kivisyys (kivien määrä ja koko), vesipitoisuus, routaantuneisuus, kerrostuneisuus, kerrosten rajapintojen muoto sekä tiivistyneisyys. Kallion osalta ovat tärkeitä irrotettavuuteen ja käsiteltävyyteen vaikuttavat tekijät kuten rapautumisaste, eheys, mineraalit ja rakeisuus, joiden avulla voidaan arvostella mm. kallion kovuutta ja haurautta.

Seuraavassa käsitellään eräitä massojen käsiteltävyyteen ja kiinnitettävyyteen vaikuttavia tekijöitä.

3.31 VESIPITOISUUS

Maan vesipitoisuus vaikuttaa sen tiivistettävyyssominaisuuksiin. Vaadittava tiiviyysaste saavutetaan helpoimmin silloin, kun maan kosteus on lähellä sen optimivesipitoisuutta. Optimivesipitoisuus riippuu tiivistyskaluston laadusta ja ylityskertojen lukumäärästä, siten että se pienenee, kun

työn määrä kasvaa. Samalla optimivesipitoisuutta vastaava kuivatilavuuspaino kasvaa.

Taulukossa 17 on verrattu eri materiaalien luonnontilaista kosteutta, jonka vaihtelurajat on saatu lukuisuuden summakäyrien 20 %:n ja 80 %:n kohdilta, ja niiden optimivesipitoisuutta parannetussa Proctorkokeessa.

Tiivistetyn maan kuivatilavuuspainon ja sen vesipitoisuuden suhdetta on tarkasteltu kuvassa 37. Kuvasta voidaan päätellä, että kärkearakeisten ja hyvin vettä läpäisevien maalajien, joiksi voidaan lukea hieta, hiekat, sorat sekä soramoreenit, tiivistämisessä on vesipitoisuuden vaihteluilla niissä rajoissa, joissa se luonnossa yleensä esiintyy (taulukko 17), varsin vähäinen merkitys. Sitäpaitsi mahdolliset ylivesimäärät poistuvat suuren

vedenläpäisevyyden johdosta tiivistettäessä.

Hienorakeisten ja huonosti vettä läpäisevien maalajien työstettävyyden on suuressa määrin riippuvainen maan vesipitoisuudesta, ja yleensä siten, että maalajin käyttökelpoisuus sellaisenaan alenee kosteuden lisääntyessä optimikosteudesta.

Huonosti vettä läpäisevien massojen kostuttaminen, mikä tosin on tarvittavien suurten vesimäärien takia harvemmin käytetty tapa, saattaa johtaa epätasaiseen tiivistymiseen, jos vesi huonon vedenläpäisevyyden takia sekoittamisesta huolimatta ei leviä tasaisesti tiivistettävään kerrokseen.

Lisäämällä tiivistävää voimaa voidaan kuivat hienojakoiset maalajit yleensä tiivistää. Märkien massojen kyseessä ollen ei tiivistävän voiman

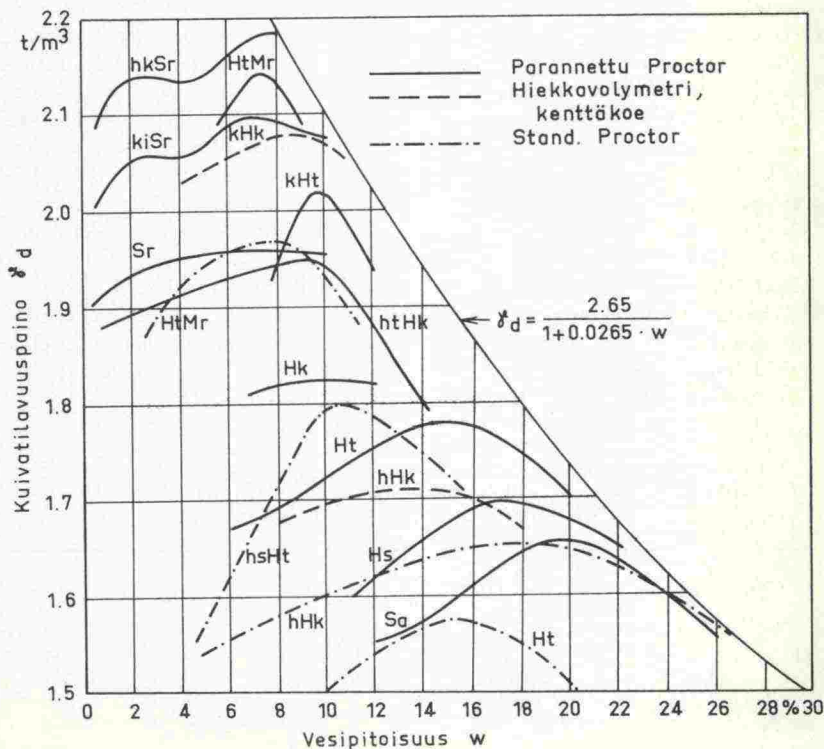
Taulukko 17. Eri maalajien luonnontilainen kosteus ja niiden optimivesipitoisuudet parannetussa Proctorkokeessa (Korhonen, Bruzelius, tvb).

Maalaji	Kosteus-% luonnontilassa	Parannettu Proctor-koe d max = 16 mm			
		Bruzelius		Tvh	
		Optimikosteus (%)	Kuivatilav. paino (t/m ³)	Optimikosteus (%)	Kuivatilav. paino (t/m ³)
Sa	35 ... 110	yli 25	1.4 ... 1.6	20 ... 30	1.4 ... 1.7
Hs	25 ... 45	10 ... 12	1.8 ... 1.9	15 ... 25	1.6 ... 1.8
Ht Hs	20 ... 40				
Ht	15 ... 30	9 ... 19	1.6 ... 2.0	5 ... 15	1.7 ... 2.2
Hk	5 ... 25	10 ... 15	1.7 ... 2.0		
Sr, Sr Mr ..	5 ... 15	5 ... 9	2.0 ... 2.2	5 ... 10	2.0 ... 2.2
Hs Mr	15 ... 30	5 ... 10	1.9 ... 2.2	5 ... 10	2.0 ... 2.3
Ht Mr	10 ... 15				
Hk Mr	10 ... 15				

tai tiivistystyön lisäämisellä ole sanottavaa vaikutusta. Useimmiten, kuten taulukosta 17 voidaan päätellä, onkin kysymys juuri siitä, että hienorakeiset maat ovat liian märkiä, jolloin niiden irrottaminen voi tuottaa vaikeuksia leikkauspohjan velliytymisen vuoksi, eikä massoja voida tiivistää välittömästi irrotuksen jälkeen. Jotta rakennusteknillisesti käyttökelpoista maainesta, joka sisältää liian paljon vettä, ei ilman muuta tarvitsisi ajaa kaato-

paikalle ja jättää kokonaan käyttämättä, tulisi se voida saattaa kuivumiselle alttiiksi jo työn alkuvaiheessa.

Eri maalajien työteknillisistä käyttökelpoisuutta tiivistämistyön kannalta voidaan siis arvioida vertaamalla luonnontilaista vesipitoisuutta Proctor-kokeessa saatuihin optimivesipitoisuuden arvoihin (taulukko 17). Muita työskenneltävyyteen vaikuttavia ja vesipitoisuudesta riippuvia tekijöitä, kuten leikkauspohjan velliytymistä,



Kuva 37:

Kuivatilavuuspainon ja vesipitoisuuden välinen riippuvuus eri maalajeissa.

luiskien stabilisuutta sekä maan irtoavaisuutta kauhasta, auton lavalta tai muusta työstävästä esineestä voidaan arvioida koheesiomaalajeissa vertaamalla keskenään luonnontilaisia vesipitoisuuksia sekä Attenbergin konsistenssirajoja. Koheesiomaalajien ominaisuuksia kuvaavista konsistenssirajoista ovat tärkeimpiä kieritysraja, joka tarkoittaa plastisen ja kiinteän olomuodon välistä vesipitoisuusrajaa, sekä juoksuraja, joka tarkoittaa juoksevan ja plastisen olomuodon välistä vesipitoisuusrajaa. Näiden tunnuslukujen perusteella tehtävät johtopäätökset ovat tärkeitä erityisesti työmenetelmäkysymysten kannalta. Taulukossa 18 on esitetty eräiden koheesiomaalajien konsistenssirajoja. Vastaavien moreenien kohdalla voidaan soveltaa taulukon arvoja. Taulukosta voidaan päätellä, että yleensä koheesiomaat ovat ainakin plastisessa tilassa, ja mitä hienompiin maalajihin joudutaan, sitä todennäköisempää on, että massat ovat juoksevassa tilassa. Juoksu- ja kieritysrajan välisessä vesipitoisuusvyöhykkeessä hieno-

jakoiset maalajit ovat muovaittavia ja yleensä tarttuvia.

Sellaisten massojen käytön suunnittelu riittävän paljon etukäteen, jotka massojen irrottamishetkellä ovat vesipitoisuutensa takia työteknillisesti soveltumattomia, mutta jotka tietyin toimenpitein (kuivatuksella, stabiloinnilla) voidaan ja kannattaisi saattaa soveltuviksi, on varsin tärkeä kysymys. Näiden massojen käsittely saattaa näet vaatia aikaa useita kuukausia ja on lisäksi riippuvainen vuodenajasta. Lisäksi niiden käytöstä märkinä saattaa aiheutua sellaisia seuraamuksia, joiden korjaaminen kannattaa tehdä vasta pitkän ajan, esim. vuoden kuluttua (painumat). Kysymys ei koske ainoastaan leikkauskohtia, vaan myös maapohjaa pengerosuuksilla, joiden tiivistettävyyys ja käyttökelpoisuus kuljetusreitillä on voitava ennakkolta arvioida.

Yhteenvetona edellisestä voidaan todeta, että rakennussuunnittelun masataloudellista suunnittelua varten olisi maaperän vesipitoisuussuhteista saatava seuraavat tiedot:

Taulukko 18. Eräiden maalajien konsistenssirajat verrattuna niiden luonnontilaiseen vesipitoisuuteen (Korbonen).

Maalaji	Luonnontilainen vesipitoisuus (%)	Kieritysraja (%)	Juoksuraja (%)
Lj	120 ... 400	45 ... 95	80 ... 170
Lj Sa	55 ... 130	30 ... 50	70 ... 135
Lj Hs	50 ... 100	30 ... 50	45 ... 70
Li Sa	60 ... 110	25 ... 40	45 ... 75
La Sa	35 ... 70	20 ... 30	30 ... 50
Hs	25 ... 45	20 ... 30	25 ... 45
Ht Hs	20 ... 40	15 ... 30	25 ... 45

- Routivissa leikkauksissa pohjaveden pinnan asema ja maan kapillaarisuus sekä/tai luonnontilainen vesipitoisuus, jotta todennäköinen maan velliytymisvyöhyke voitaisiin määritellä. Tarvittaessa tulisi voida tehdä ennakkotiivistyskokeita leikkauksesta saatavalle materiaalille luonnontilaista kosteutta vastavissa olosuhteissa, jotta sen työtekennillinen käyttökelpoisuus voitaisiin selvittää ja ottaa huomioon massojen käytön suunnittelussa.
- Varamaanottoapaikkojen osalta pohjaveden pinnan asema sekä routivia maalajeja käsittävistä alueista myös samat tiedot kuin routivista leikkauksista.

Työnsuunnittelua varten on edellisten lisäksi selvitettävä:

- Routivien pengeralustojen kohdista pohjaveden pinnan asema sekä maaperän kapillaarisuus silloin, kun rakennettavan penkereen korkeus edellyttää kasvillisuus- ja pintakerroksen poistamista kivennäismaan päältä, jotta maapohjan velliytymisvaara sitä työstettäessä ja sillä kuljettaessa voitaisiin arvioida. Tämänkin kohdan selvittäminen jo suunnittelua varten on yleensä perusteltua mahdollisten pohjavahvistustoimenpiteiden suunnittelemiseksi.

Maan keskimääräiseen luonnontilaiseen kosteuteen vaikuttavat sen rakeisuus (ja kapillaarisuus) sekä pohjaveden pinnan asema, mutta sateilla on huomattava vaikutus kosteuspitoisuuden hetkellisiin muutoksiin. Maan luonnontilaisesta kosteudesta työstö-

hetkellä ei siten varsinkaan hienojaksoisissa maalajeissa ilmeisesti voida antaa kovin tarkkoja arvioita.

3.32 KIVISYYS

Maaperän kivisyyttä voidaan jonkin verran arvostella kairaustulostenkin perusteella, mutta varmin keino on kuitenkin tehdä se koekuoppien avulla. Tällöin ei luonnollisesti voida tehdä kovin perusteellisia tutkimuksia menetelmän kalleuden ja hankaluuden takia. Maan kivisyydestä saadaankin yleensä selvä kuva vasta rakennustöiden yhteydessä. Selvitettäessä materiaalin kaivuvaikeutta on kivisyys otettu huomioon. Kaivuvaikeuden perusteella ei kuitenkaan ole mahdollista päätellä kivisyyden vaikutusta materiaalin käyttökelpoisuuteen rakennusmateriaalina. Kivien vaikutusta valmiin rakenteen käyttäytymiseen on tutkittu verrattain vähän. Yleensä kokemukseen nojaten otaksutaan, että nykyisillä työmenetelmillä kivet vaikeuttavat maalajin tiivistämistä. Joutuessaan routautuvaan kerrokseen kivi suuremman lämmönjohtokykynsä vuoksi edistää roudan tunkeutumista maahan, jolloin routivissa maissa tapahtuu epätasaista nousua.

Raivauksen yhteydessä on pinta-kivet poistettava matalien penkereiden alta (esim. päällysrakenneluokissa 1, 2 ja 3 alle 2.1 m etäisyydellä tasausviivasta olevat kivet), jos niiden läpimitta on yli 50 cm. Kun pengerkorkeus kasvaa, sallitaan penkereen olla kerroksittain rakennettaessa läpimitaltaan alle 1.0 m ja päätypengerretäessä alle 2.0 m kiviä. Pengermate-

riiali ei saa sisältää suurempia kiviä kuin läpimitaltaan $\frac{2}{3}$ kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta, mikä käytännössä merkitsee maalajin ja tiivistyskaluston mukaan sallittavien kivien 10...45 cm maksimiläpimittaa.

Leikkaustyön tai pengermateriaalin levityksen yhteydessä joudutaan tekemään lisätyötä kivien erottelemiseksi. Työ vaatii lisäksi rakennuttajan taholta suhteellisen paljon valvontatyötä. Kivisyyden selvittämisellä pohjatutkimusten yhteydessä olisi merkitystä massojen käyttösuunnittelulle. Kerrospengerrykseen kivisyytensä takia hankalasti soveltuva maa voitaisiin käyttää mm. ylikorkeiden penkereiden pohjissa, massanvaihdossa tai vesistöpenkereisiin, mikäli se muutoin on tarkoitukseen soveltuva. Toisaalta erottelemalla saaduille kivimassoille saattaisi löytyä parempi käyttö rakenteen osissa kuin esim. luiskien täyteenä, jos etukäteen voitaisiin arvioida kivien paljoutta ja sijaintia. Kivisyyden ilmauksena ei riittäisi tällöin pelkkä %-luku, vaan myös kivien koolla on merkitystä. Mutta kivisyyden määrittelemiseksi nykyään yleisesti käytössä olevat menetelmät ovat ilmeisesti niin kalliita, ettei niitä kannata käyttää, elleivät massamäärät ole poikkeuksellisen suuria.

Massojen käytön ja siirron suunnittelua ja lähinnä työsuunnittelua varten olisi selvitettävä suurten leikkausten ja varamaanottopaikkojen kivisyys. Tällöin läpimitaltaan yli 200...400 mm suuristen kivien ja lohkaisten määrään tulisi kiinnittää huomiota. Massojen rakennusteknillisen käyttökelpoisuuden lisäksi on kivisyy-

dellä vaikutusta myös työtekniilliseen käyttökelpoisuuteen. Oikean työmenetelmän ja koneistuksen valinta edellyttää kivisyyden tuntemusta erityisesti pienissä leikkauskohteissa, joissa yleensä käytetään pieniä koneita.

3.33 KERROSTUNEISUUS JA TIIVIYS

Maaperän kerroksellisuus, kerrosten rajapintojen muoto sekä maalajien tiiviys vaikuttavat lähinnä massojen irrottavuuteen ja käsiteltävyyteen. Tiivistyneisyyden vaikutus on otettu huomioon kaivuvaikeuden luokittelussa, eikä sillä sinänsä ole suurta vaikutusta massojen käytön suunnittelussa. Joissakin tapauksissa saattaa massataloudelliselta kannalta olla perusteltua muuttaa rakennussuunnitelmaa siten, että vältytään irrottamasta erittäin iskostunutta ja sellaisena hyvää rakennus-alustaa, mutta routivaa tai muuten huonompilaatuista maata.

Jos leikkauksessa esiintyy eri maalajeja ohuina alle 1 m paksuisina kerroksina, saattaa maalajien erottaminen toisistaan nostaa kustannuksia niin paljon, että toimenpide ei ole enää taloudellisesti perusteltavissa eikä sitä kohtuudella voida rakentajalta vaatia. Pohjatutkimusten yhteydessä olisikin tällaisten kerrostumien paksuuksien ja muodon selvittämiseen kiinnitettävä huomiota, erityisesti jos kyseeseen tulisi kelpaamattomien massojen erottaminen kelpaavista massoista, koska niiden käyttötarkoitus käytännössä saattaa määräytyä huonoimman massan mukaisesti.

3.34 SAVIEN KÄYTTÖ- KELPOISUUS

Massataloudellisessa mielessä saattaa savien sensitiivisyydellä ja stabilisuudella olla merkitystä silloin, jos näitä sellaisenaan rakennusteknillisesti kelpaamattomia maita haluttaisiin käyttää hyväksi esimerkiksi luiskaverhouksen tekemisessä tai saattaa ne käyttökelpoisiksi stabiloimalla. Viimeksi mainittuun tosin voimassaolevat määräykset antavat hyvin vähän mahdollisuuksia, vaikka stabiloidun saven käyttö tietyissä olosuhteissa olisikin taloudellisesti perusteltua ja teknillisesti mahdollista. Massojen käytön suunnittelun kannalta saattaisi ko. ominaisuuksien selvittäminen olla pe-

rusteltua sellaisissa tapauksissa, joissa kelpaamattomia massoja voitaisiin suoraan ajaa pengerluiskien (louhospenkereet) verhoukseksi — edellyttäen, että työn yleinen järjestely mahdollistaisi tämän toimenpiteen — tai käyttää niitä vastapenkereiden rakentamiseen.

Sensitiivisten maiden luonnontilainen leikkauslujuus voi olla usein jopa 100 kertaa suurempi kuin niiden leikkauslujuus irrotuksen, kuormauksen ja kuljetuksen jälkeen. Tällaisten lujuutensa melko nopeasti menettävien maiden käyttö ja käsittely tai vain sijoittaminen kaatopaikoille edellyttää niiden erikoisominaisuuksien tuntemista ennakkosuunnittelussa.

3.4 Materiaalin käyttöarvon vertailuperiaatteet

Massataloudellisen suunnittelun eräänä tärkeimpänä välineenä on materiaalin käyttöarvo. Materiaalin käyttöarvo eri rakenteissa riippuu sen hinnasta kiinnitettynä sekä sen vaikutuksesta rakenteen muiden osien hintaan. Kiinnittämisen hinta riippuu pääasiassa materiaalin työteknessä ominaisuuksista ja vaikutus rakenteen muiden osien hintaan materiaalin rakennusteknessä ominaisuuksista. Arvosteltaessa eri materiaalivaihtoehtojen edullisuutta rakennusaineena tietyssä rakenteen osassa se voidaan tehdä määrittelemällä eri rakenteen vertailuhinta (K_v) eri vaihtoehtoisille materiaaleille. Materiaalin hinta rakenteessa (K_r) muodostuu kaavan (4) mukaisesti.

(4)

$$K_r = y (K_i + K_k + K_s + K_j) + K_h$$

y yhdistetty yleiskustannus-, riski- ja voittokerroin

K_i irrotus- ja kuormauskustannus

K_k siirto- tai kuljetuskustannus

K_s rakenteeseen sijoittamisen kustannus (kiinnittäminen)

K_j jalostus- ja varastointikustannus

K_h hankinta (lunastus tai materiaalin osto tiealueen ulkopuolelta)

Materiaalin vertailuhinta rakenteessa saadaan, kun yhtälöön (4) lisätään kustannus (K), joka ottaa huomioon ko. materiaalin käytön vaikutuksen muiden rakenteiden kustannuksiin:

$$(5) K_v = K_r \mp K$$

Vertailussa ja siis K_v :n laskemisessa voidaan otaksua, että $y = 1$. Itse

asiassa on materiaalin vertailuhinta käsitteellisesti sama kuin koko sen rakenteen hinta (rakenneyksikköä kohti), johon vertailtavan materiaalin käyttö vaikuttaa. Tämä vertailuhinta on sidottu vertailun alaisena olevaan rakenteeseen. Samalle materiaalille ei siten voida käyttää samaa vertailuhintaa eri rakennusosissa, koska hinta on riippuvainen eri materiaalien määräsuhteista.

Siten voidaan yhtälö (5) pukea seuraavaan muotoon:

(6)

$$K_v = \frac{m}{m_0} k_r + \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m_0} k_{i,r} + \frac{k}{m_0}$$

eli

$$K_v = (m k_r + \sum_{i=1}^n m_i k_{i,r} + k) \frac{1}{m_0}$$

m_0 rakenteen koko massamäärä

m vertailtavasta materiaalista rakennettavan osan massamäärä

m_i muun rakenteessa tarvittavan rakenneosan i massamäärä

k_r vertailtavan materiaalin m^3 -hinta rakenteessa

$k_{i,r}$ materiaalin i m^3 -hinta rakenteessa

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

$k_{i,r}$ materiaalin i m^3 -hinta rakenteessa

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

k sellaiset muut rakenteen lisäkustannukset, jotka aiheutuvat vertailtavan materiaalin käytöstä, mutta joita ei voi suoraan yhdistää kustannukseen $k_{i,r}$ (esim. kunnossapitokustannusten muutos). k voi siis olla joko positiivinen tai negatiivinen.

luiskan kaltevuus 1:1,5, rakentamiseksi valittavissa eri materiaaleja, jotka olisi otettava tielinjan ulkopuolelta.

— *Vaihtoehto 1* olkoon louhepenger, jolloin $m = m_0$, kun kantava kerros tehdään suoraan louhospenkereelle. Olkoon $k_r = 14 \text{ mk/m}^3_{\text{kt,d}}$, lisähinta pinnan tiivistämisestä ja luiskan verhoamisesta $k = 5700 \text{ mk}$, $m^3_{\text{rtd}}/m^3_{\text{kt,d}} = 1,5$ ja $m^3_{\text{rtd}}/m^3_{\text{rtr}} = 1,1$. Tällöin $K_r = 14/1,5 = 9,33 \text{ mk/m}^3$ ja $K = 5700/7000 \cdot 1,1 = 0,74 \text{ mk/m}^3$ eli $K_v = 9,33 + 0,74 = 10,07 \text{ mk/m}^3$ (koko rakenteen tilavuutta kohti).

— *Vaihtoehto 2* olkoon E-luokan penger, jolloin $m = 0,87 m_0$ ja suodatin-, eristys- ja jakavan kerroksen $m_1 + m_2 + m_3 = 0,13 m_0$. Olkoon $k_r = 8 \text{ mk/m}^3_{\text{kt,d}}$, $k_{1,r} = k_{2,r} = k_{3,r} = 10 \text{ mk/m}^3_{\text{rtr}}$, kunnossapitokustannuksen lisäys vaihtoehtoon 1 verrattuna $k = 2000 \text{ mk}$, kun oletetaan, että 10 vuoden kuluttua kunnossapitokustannukset ovat samat, $m^3_{\text{rtd}}/m^3_{\text{kt,d}} = 1,05$ ja $m^3_{\text{rtd}}/m^3_{\text{rtr}} = 1,1$. Tällöin $K_r = 0,87 \cdot 8/1,05 = 6,63 \text{ mk/m}^3$ ja $K = 0,13 \cdot 10 + 2000/7000 \cdot 1,1 = 1,56 \text{ mk/m}^3$ eli $K_v = 6,63 + 1,56 = 8,19 \text{ mk/m}^3$.

— *Vaihtoehto 3* olkoon C-luokan penger, jolloin $m = 0,98 m_0$ ja jakava kerros $m_i = 0,02 m_0$. Olkoon $k_r = 9 \text{ mk/m}^3_{\text{kt,d}}$, $k_{1,r} = 10 \text{ mk/m}^3_{\text{rtr}}$, $m^3_{\text{rtd}}/m^3_{\text{kt,d}} = 1,1$ ja $m^3_{\text{rtd}}/m^3_{\text{rtr}} = 1,1$. Tällöin $K_r = 0,98 \cdot 9/1,1 = 8,02 \text{ mk/m}^3$ ja $K = 0,02 \cdot 10 = 0,20 \text{ mk/m}^3$ eli $K_v = 8,02 + 0,20 = 8,22 \text{ mk/m}^3$.

Materiaalien käyttöarvojen vertailuun perustuvien ratkaisujen tekeminen rakennussuunnittelun yhteydessä on välttämätöntä, mutta se ei ole tarkoituksenmukaista, ellei eri materiaa-

lien yksikköhintoja kyetä riittävän tarkasti määrittelemään. Eri materiaalien yksikkökustannusten (k_r) se osa, joka ei sisällä kuljetus- eikä hankintakustannusta (lunastuskustannus tai ostohinta) on eri materiaaleille keskimäärin vakio ja paikasta riippumaton; ja se voidaan siten standardisoida, kun näihin standardikustannuksiin lisätään paikasta riippuvat hankinta- ja kuljetuskustannukset, joiden määrittäminen eri tapauksissa on verraten helppoa — ja jotka karkeita laskelmia varten voidaan myös standardisoida —, saadaan kulloinkin kyseessä olevan materiaalin yksikkökustannukselle arvio, jonka perusteella materiaalin vertailuhinta voidaan määrittellä. Materiaalien käyttöarvojen vertailuun perustuvaa, rakennussuunnittelun yhteydessä tapahtuvaa massataloudellista suunnittelua varten tarvitaan mm. seuraavat tiedot:

- Materiaalilajeittain ja rakennustapojen ja rakenteiden mukaisesti ryhmiteltyjä tietoja kustannusstandardeista.
- Tietoja eri materiaalinvalintojen ja rakenneratkaisujen vaikutuksesta kunnossapitokustannuksiin.
- Maatutkimusraportti, jonka tulisi sisältää edellä jo esitettyjen materiaalien työteknillisiä ominaisuuksia valaisevien tietojen lisäksi

- varamaanottopaikkojen osalta maanäytteisiin perustuva selvitys materiaalien rakennusteknillisistä ominaisuuksista (routivuus ja kantavuus),
- leikkausten kohdilta kalliopinnan asema, jolloin erityisesti olisi kiinnitettävä huomiota sellaisiin kohtiin, joissa ehdotetulla tasausviivan asennolla jouduttaisiin suorittamaan matalalouhintaa, koska tämä on keskimäärin 100...150 % syvälouhintaa kalliimpaa,
- pengeralustojen kantavuus ja routivuus alus- ja päällysrakenteen laadun määrittelemiseksi; jos pengerkorkeus on alle oheisen taulukon arvojen.
- Alueen kuljetusolosuhteet (tiestö ja sen käyttökelpoisuus).
- Hintatiedot maan lunastuskustannusten arvioimiseksi sekä varamaiden myyntihinta-arviot.

Koska rakenteiden mitoitus perustuu kantavuusluokitteluun, olisi pohjatutkimusraporteissa suunnittelua varten ilmoitettava materiaalien rakennusteknillinen käyttökelpoisuus kyseistä kantavuusluokittelua käyttäen täydennettynä työteknillisen käyttökelpoisuuden arvostelemiseksi tarvittavilla tiedoilla, mikä myös helpottaisi työnsuunnittelua.

Päällysrakenne	1	2	3	4	5	6
Pengerkorkeus (cm)	125	120	110	100	90	80

3.5 Näkökohtia eräiden materiaalien käytöstä tienrakennustöissä

Tienrakennustyössä on pyritty käyttämään rakennusaineina jalostamattomia, sellaisinaan luonnosta saatavia materiaaleja niin pitkälle kuin mahdollista. Vaatimusten kasvaessa on yhä vaikeampaa löytää luonnosta sellaisinaan kelpaavia rakennusaineita. Vaatimukset kasvavat sekä rakenteessa itsessään siirryttäessä lähemmäksi tien pintaa että eri rakennusosissa sinänsä, kun tiestön yleiselle käyttökelpoisuudelle asetetut vaatimukset kasvavat yhteiskunnan tarpeiden myötä. Luonnosta saatavan materiaalin jalostusastetta nostavat toimenpiteet voidaan asettaa seuraavaan järjestykseen: kivien erottelu maa-aineksesta, välppäys, seulonta, louhinta, murskaus ja lisäainesten sekoittaminen. Jalostusasteen noustessa nousevat myös jalostuskustannukset, ja käänteinen riippuvuus jalostettavan erän suuruuden ja materiaalin yksikköhinnan välillä voimistuu.

Tienrakennusmateriaalit voidaan jakaa neljään pääluokkaan:

- kalliomassat (ml. kivi- ja lohkaremassat),
- maamassat,
- rakenteellisesti kelpaamattomat massat,
- pitkälle jalostetut murskaus- ja sekoitustuotteet.

3.51 KALLIOMASSAT

Vuonna 1965 käytettiin maassamme varovasti arvioiden noin 36 Mm^3 irto-

maalajeja, josta hiekan ja soran osuus oli noin 20 Mm^3 . Luvusta puuttuvat mm. maataloudessa käytetyt massat sekä ruoppauksissa irrotetut massat. Viimeksi mainituista suurin osa jää kuitenkin hyödyksi käyttämättä. Irto- materiaaleista käytettiin arviolta 29 Mm^3 tienrakennuksessa, josta sellaisenaan noin 22 Mm^3 ja murskattuna arviolta 7 Mm^3 . Kalliota louhittiin maassa noin 9 Mm^3 , josta tieleikkauksista noin $2,2 \text{ Mm}^3$, tästä arviolta $0,8 \text{ Mm}^3$ murskattiin edelleen päällysrakennemateriaaleiksi ja loput lienee käytetty sellaisenaan pengerten rakennusaineena tai ajettu kaatopaikoille. Muissa rakennusteknisissä louhinnoissa irrotettiin kalliota noin $2,9 \text{ Mm}^3$. Jos otaksutaan, että tästä määrästä korkeintaan $0,5 \text{ Mm}^3$ on muokattu edelleen sepeliksi, jäisi noin $2,4 \text{ Mm}^3$ kalliota, joka olisi käytetty toisarvoisiin täyttöihin tai ajettu kaatopaikoille. Kun otaksutaan, että osa tielinjoilta leikatuista kalliomassoista on ajettu kaatopaikoille, voidaan karkeasti arvioida, että käyttämättä jääneitä kalliomassoja on ollut $2,5...3,0 \text{ Mm}^3$. Tämä merkitsee $3,5...4,5 \text{ Mm}^3$ irtokuutioiksi muutettuna, jolla olisi voitu rakentaa 10 m leveätä ja $2,5 \text{ m}$ korkeata tiepengertä (luiskan kaltevuus $1:1,5$) $85...110 \text{ km}$. Voidaan otaksua että suurin osa rakennusteknisistä louhinnoista on suoritettu asutuskeskuksissa tai niiden läheisyydessä, joissa irtomaalajien ja nimenomaan soran ja hiekan saanti on vai-

keutumassa sekä kaatopaikat verraten kaukana työkohteista.

Vaikka edellä esitetty tarkastelu onkin verrattain spekulatiivista, voitaneen sen perusteella kuitenkin todeta, että kalliomassojen käyttö on kansantaloudellisessa mielessä verraten tuhlailtavaa, kun vuosittain on varaa joko kokonaan jättää käyttämättä tai käyttää toisarvoisten ja ehkä keinotekoistenkin tarpeiden tyydyttämiseen yli 2 Mm³ irrotettua ja näin siis tavallaan jo investoinnin kohteena ollutta kalliota.

Kalliota on saatavissa lähes rajattomasti, sora- ja hiekkavarantomme ovat sensijaan rajalliset ja suurin osin sidotut muihin tarkoituksiin. Ilmeisesti kehitys tulee johtamaan yhä laajenevaan kalliomassojen käyttöön ja suurten asutuskeskusten läheisyydessä saattaa jo piankin syntyä tilanne, jolloin jopa sora- ja hiekkaa vastaavien tuotteidenkin jalostaminen suoraan kalliosta tulee halvemmaksi kuin sen ottaminen luonnonesiintymistä. Joka tapauksessa on syytä otaksua, että irtomaalajien korvaaminen tietyissä tapauksissa louheella tulee vähitellen ajankohtaiseksi Etelä- ja Lounais-Suomen tiheään asutuilla seuduilla. Tällöin tulisi tapahtua jonkinlaista suurehkoja massamääriä koskevien rakennushankkeiden alueellista koordinoitua yhteisen massataloudellisen suunnittelun mahdollistamiseksi, niin että niitä massoja, joita toisaalla joudutaan irrottamaan, voitaisiin toisaalla käyttää hyväksi. Jo nykyisin kannattaisi ylijäämälouhetta kuljettaa Etelä-Suomessa keskimäärin 30 km, jos vaihtoehtona olisi varamaanotto paikasta otettu-

jen massojen käyttö ja louhe saataisiin ilmaiseksi kuormattuna.

Louheen käytöllä pengermateriaalina on mm. seuraavia etuja:

- Maan lunastaminen kallion kyseessä ollen on keskimäärin helpompaa ja halvempaa kuin muunlaista rakennusmateriaalia käsittävän maapohjan.
- Rakentaminen talvella on mahdollista.
- Voidaan käyttää päätypengerrystä (1,5 metriin asti tasausviivasta yhtenä kerroksena ja siitä ylöspäin toisena kerroksena) ja jättää päällysrakenteen alaosan kerrokset pois, jolloin rakentaminen yksinkertaistuu.
- Alusrakenteesta saadaan tukeva ja tasa-aineinen penger, joka ei roudi, jonka kuivana pitäminen on helpoa ja joka ei ilmeisesti painu liikenteen värinän vaikutuksesta, ellei pengeralusta konsolidoidu.
- Louhinnan yhteydessä kallio painuu huomattavasti enemmän kuin maamassat, joten irrotettua kiintokuutiota kohden saadaan 1,4... 1,5-kertaisesti rakennekuutioita. Täten tasausviivan tai linjauksen vähäisilläkin muutoksilla saadaan massataloudessa aikaan merkitseviä muutoksia.
- Geoteknillisten tutkimusten määrä materiaalin rakennusteknillisen kelpoisuuden määrittämiseksi vähennee, koska Suomen kalliosta saatava louhe melkein poikkeuksetta kelpaa A-luokan materiaaliksi.
- Kansantaloudelliselta kannalta ja pitkällä tähtäyksellä tarkasteltuna

saattaisi olla syytä jarruttaa sora- ja hiekkavarantojemme kulutusta, missä se suinkin on mahdollista.

Louheen käytön haittana on se, että kallion ja louheen työstäminen on kalliimpaa kuin maamassojen, koska siinä tarvitaan enemmän ja raskaampia koneita ja koulutetumpaa työvoimaa. Yksi penkereen m^3_{rtt} louheesta maksaa 1,9...2,4 kertaa sen, mitä yksi m^3_{rtt} maamassoista riippuen lähinnä maamateriaalin laadusta. Täten louheen käytön edullisuus maamassoihin verrattuna riippuu lähinnä kolmesta tekijästä:

- Siitä kustannusäästöstä joka syntyy, kun maanpenkereiden päällysrakenteen alemmat kerrokset korvataan louhepenkereessä louheella ja yläpinnan tiivistyskerroksella. Mitä korkeampi pengeri, sitä vähäisempi merkitys on em. seikalla.
- Louheen ja maamassojen hankintahintojen erosta.
- Louheen ja maamassojen kuljetusmatkojen erosta.

Jos louhe saadaan joltakin toiselta työmaalta kuormattuna kuljetusajoneuvossa, on louhekuution hinta rakenteessa vain 0,6...0,7-kertainen verrattuna maakuution vastaavaan hintaan omalta työmaalta.

Yleisesti voidaan todeta, ettei normaalityötapauksissa louheen käyttö pengermateriaalina tule edullisemmaksi kuin maamassojen. On luonnollisesti erikoistilanteita ja rakenteita, kuten tarve rakentaa talvella, pohjanvahvistustoimenpiteet, maamassojen huono työteknillinen käyttökelpoisuus, vesis-

töpenkerreet tai maamateriaalien varaiminen johonkin toiseen tarkoitukseen, jolloin louheen käyttö maamassojen sijasta saattaa olla taloudellisesti perusteltavissa.

Kuljetuskustannus kasvaa 28...33 p/ m^3_{rtt} jokaista kilometriä kohden. Se merkitsee, että maamateriaalin k_r -hintaa kasvaa joka 8...15 km sillä määrällä, joka tarvitaan sen irrotukseen, kuormaukseen ja kiinnittämiseen. Jos siis maamassojen kuljetusmatkat kasvavat suuriksi, tulee vastaan raja, jolloin kannattaa avata rakennuspaikan lähimaastossa varalouheen otto paikka tai suunnitella tielinja kulkemaan kalliomäkien kautta.

Tietyissä olosuhteissa, joista rakenteellisesti ja työteknillisesti kelpaavien massojen kuljetusolosuhteet ovat tärkeimmät, saattaa siis louheen käyttö tulla taloudellisesti — kansantaloudelliset näkökohdat unohtaen — edullisemmaksi kuin maamassojen käyttö. Huomattakoon lisäksi, että louheen käyttö tuo tullessaan etuja talvirakentamisen, kunnossapitokustannusten, geoteknillisen tutkimuksen ja kansantaloudellisten näkökohtien kannalta. Nämä tekijät on otettava huomioon kussakin tapauksessa erikseen.

3.52 KELPAAMATTOMAT MASSAT

Rakennusteknisessä mielessä kelpaavat kaikki kivennäismaalajit savea lukuunottamatta pengermateriaaliksi. Kuivakuorisavea saa kuitenkin käyttää erikoisluvalla. Veteen pengerrätessä on hienoin kyseeseen tuleva materiaali hiekka tai poikkeustapauk-

nessa hiekkamoreeni; massanvaihdoissa käytetyn materiaalin tulee olla hiekkaa tai sitä karkeampaa.

Kelpaamattomia massoja ovat sellaiset massat, joita ei voida käyttää kantavien rakenteiden teossa. Nämä ovat yleensä savet sekä olosuhteiden takia työteknillisesti kelpaamattomat yleensä runsaasti hienojakoisia lajitteita sisältävät materiaalit. Viimeksimainitut voidaan kylläkin yleensä saattaa rakennusteknillisesti kelpaaviksi erityistoimenpiteiden avulla. Erityistapauksissa muutkin seikat, kuten kiviisyys saattavat aiheuttaa massojen työteknillisen kelpoisuuden alenemista.

Kelpaamattomille massoille voidaan osoittaa seuraavia käyttömahdollisuuksia:

- luiskien verhous
- luiskien täyttö
- vastapenkereet
- maiseman muotoilu
- pengeralustan muotoilu, kun pohjamaa on rakennusteknillisesti samantarvoista maalajia
- tiivisteenä ja täytteenä sekundaarisissa rakenteissa (keskikaistat, kiuvaslaitteet yms.)
- ajo kaatopaikoille, jolloin massojen kustannus on sitä pienempi, mitä lähempänä kaatopaikka on irrotuspaikkaa.

Näistä luiskien täyttö, vastapenkeret ja maiseman muotoilu tarjonnevat laajimmat käyttömahdollisuudet.

Kelpaamattomat massat eivät ole yleensä keskimääräistä helpompia irrottaa. Liian märät massat edellyttävät usein erikoisjärjestelyjä työmaalla, jotta koneiden käyttö irrotuksessa

sekä kuormaus ja kuljetus ylipäänsä olisivat mahdollisia. Voidaan todeta, että kelvollisiin materiaaleihin nähden kelpaamattomien materiaalien kuljetus ja kiinnittäminen rakenteeseen on vaivalloisempaa ja siten myös kalliimpaa — kuljetuksen hankaloitumista ei tosin useimmiten oteta huomioon kuljetussopimuksia tehtäessä. Käytettäessä märkiä ja hienojakoisia massoja riski kohdistuu rakenteiden vakavuuteen, ja esim. jälkipainumat talvirekamentamisen seurauksena voivat olla huomattavia ja erityisen hankalasti hallittavia. Kun ei kuitenkaan yleensä ole mahdollista välttää sitä, että joudutaan irrottamaan tielinjalta kelpaamattomia massoja, ratkaisee käytännön se, onko materiaalin ajo kaatopaikalle ja sen käsittely siellä sekä vastaavan materiaalien tuominen muualta halvempaa kuin sen ajo rakenteeseen (jos se on rakennusteknillisesti kelpaavaa) sekä käsittely ja hoito siinä lisättynä sen riskin arvolla, joka ko. materiaalin käytöstä rakenteessa jonkin muun materiaalin sijasta aiheutuu.

Jos massat voidaan ilman välivarastointia käyttää hyväksi sekundaarisissa rakenteissa, on massojen käyttö myös yleensä taloudellisesti perusteltavissa. Välivarastointi lisää kustannuksia 50...70 % (ilman kuljetusta). Välivarastoinnin välttäminen edellyttää, että työmaa on kyllin pitkä ja rakennusaika riittävä, niin että työmaa kannattaa ja voidaan jakaa eri työvaiheissa oleviin osiin.

Mikäli kelpaamattomia massoja halutaan käyttää hyödyksi rakennustyössä, olisi niiden käyttö esitettävä ra-

kennussuunnitelmassa, koska poikkeaminen siitä ei periaatteellisesti ole urakoitsijalle edullista, vaikka rakennuttajan kustannukset näin pienensivätkin, koska urakoitsijan liikevaihto pienenee ja riski rakenteiden vakaudesta kasvaa.

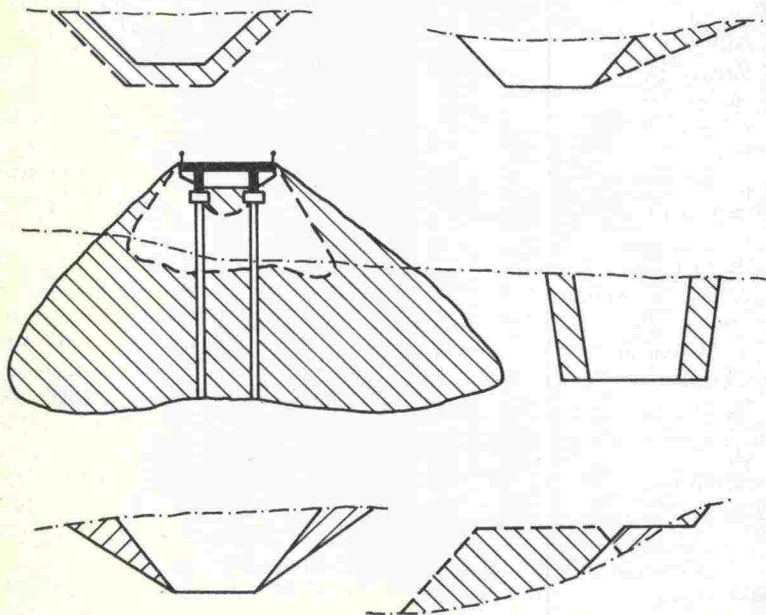
vätkin, koska urakoitsijan liikevaihto pienenee ja riski rakenteiden vakaudesta kasvaa.

3.6 Suunnittelijan mahdollisuuksista vaikuttaa kustannusten muodostumiseen

Tien massatalouteen voidaan vaikuttaa mm. seuraavin keinoin (kuva 38):

- muuttamalla tasausviivan asentoa
- muuttamalla linjausta
- muuttamalla luiskien kaltevuuksia
- muuttamalla leikkauksen tai penkereen leveyttä

- muuttamalla rakennustapaa, rakenteita ja materiaaleja
- muuttamalla varamaanottoaikkosijaintia
- muuttamalla kaatopaikkojen sijaintia.



Kuva 38:

Tien massatalouteen voidaan vaikuttaa monin keinoin.

Yleensä kaikki ne toimenpiteet, joiden johdosta käsiteltävän massan määrä vähenee, kuten pengerkorkeuden alentaminen, ovat taloudellisempia kuin ne toimenpiteet, joissa massan määrä kasvaa. Aivan pienilläkin

toimenpiteillä, jotka vaikuttavat pitkällä matkalla, voidaan saavuttaa huomattavia parannuksia massatalouteen (esim. pengerkorkeuden alentaminen 20 cm:llä).

3.7 Suoriteyksiköiden muutoksista

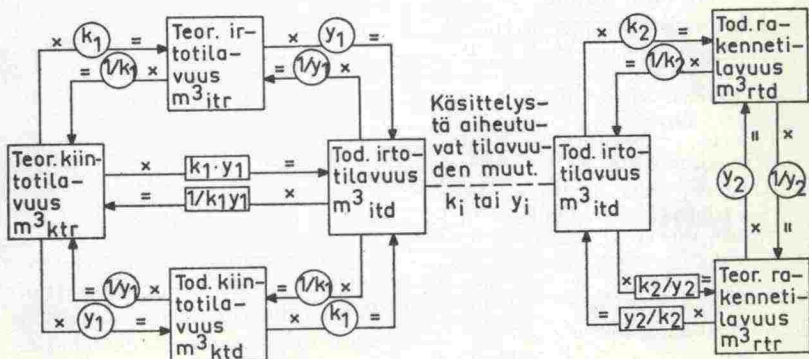
Käsiteltäessä maa- tai kalliomassoja on niiden tilavuuksilla ja tilavuuspainoilla taipumus muuttua käsittelyn aikana. Muutokset ovat useimmiten niin suuria, että niiden vaikutus massamääriin on otettava huomioon suunnittelussa. Tämä tapahtuu löyhtymis- ja lisämassakertoimien (k ja y) avulla. Löyhtymiskertoimet kuvaavat saman massamäärän tilavuuden muutoksia eri käsittelyvaiheiden aikana ja lisämassakertoimet sitä hukkaa tai alimäärää, joka syntyy teoreettisten ja käytännössä käsiteltyjen massamäärien välille. Kuvassa 39 on esitetty asiaa kuvaava kaavio. Siinä ensimmäinen

”sykkeli” kuvaa irrotusvaihetta ja toinen kiinnittämistä.

Kertoimien arvosta ei Suomessa ole tehty mitään yhtenäistä tutkimusta. Taulukkoon 19 on koottu eri kertomille keskimääräisiä arvoja, joita on käytetty mm. tvh:n kustannusstandardeissa. Kertoimien suuruus on ilmeisesti lähinnä riippuvainen maalajin kuivatilavuuspainosta, mm. seuraava yhtälö on esitetty:

$$k_i = (\gamma_d - 0,51) / 0,86.$$

Tämän takia kaivu vaikeusluokittelun mukainen jaottelu on perusteltua.



Kuva 39: Tilavuussuoriteyksiköiden muuntokaavio maarakennustöitä varten.

Taulukko 19. Löyhtymis- ja lisämassakertoimet tienrakennustöissä. Kerroin y_2 ei sisällä alustan painumisen aiheuttamaa hukkaa ja se on riippuvainen lähinnä penkereen koosta.

Kaivuvaikeus	k_1	k_2	y_1	y_2
K: 1	1.15 ... 1.25	0.80 ... 0.85	1.10 ... 1.15	1.05 ... 1.15
K: 2	1.20 ... 1.30	0.80 ... 0.85	1.10 ... 1.15	1.05 ... 1.15
K: 3	1.25 ... 1.35	0.80 ... 0.85	1.10 ... 1.15	1.05 ... 1.15
K: 4	1.30 ... 1.40	0.80 ... 0.85	1.10 ... 1.15	1.05 ... 1.15
K: 5	1.35 ... 1.50	0.80 ... 0.85	1.10 ... 1.15	1.05 ... 1.15
K: 6	1.40 ... 1.60	0.75 ... 0.85	1.15 ... 1.20	1.05 ... 1.15
K: 7	1.55 ... 1.80	0.75 ... 0.85	1.15 ... 1.25	1.05 ... 1.15
Kantava	1.05 ... 1.10*)	0.75 ... 0.85	—	1.10 ... 1.15
Jakava	1.20 ... 1.30	0.80 ... 0.90	—	1.20 ... 1.30
Erist.	1.20 ... 1.30	0.80 ... 0.85	—	1.20 ... 1.30

*) Kiviainesvarastosta

Taulukossa 19 on käytetty seuraavaa kaivuvaikeusluokitusta, joka sisältää eräitä täydennyksiä kohdassa 1.332 (taulukot 3 ja 4) esitettyyn kaivuluokitukseen (IVO-luokitukseen):

- K: 1 Lajittuneet hienorakeiset maalajit: hiekkainen sora, hiekka, hieta kuivana, hiesu kuivana (IVO-luokituksen K: 1).
- K: 2 Kuten edellä, hieta märkänä, hiesu märkänä, märkä savi, muta, turve (IVO-luokituksen K: 1).
- K: 3 Lajittuneet kiviset maalajit: kivinen sora (IVO-luokituksen K: 2).
- K: 4 Kiinteät kiviset maalajit kuivina: kuiva savi, kuivat hiesu-, hieta- ja hiekkamoreeni (IVO-luokituksen K: 3).
- K: 5 Hiesu-, hieta- ja hiekkamoreeni märkinä (IVO-luokituksen K: 3) sekä hienoksi ammuttu louhe, jonka suurimpien lohcareiden keskimääräinen sivun pituus 40 cm.
- K: 6 Tiukkaan pakkautuneet ja suhteistuneet ja lohcareiset maalajit: pohjamoreeni, pulterikko ja loushikko (IVO-luokituksen

K: 4) sekä louhe keskimääräisissä olosuhteissa, jolloin suurimpien lohcareiden keskimääräinen sivun pituus 60 cm.

- K: 7 Kova, runsaslohcareinen moreeni (IVO-luokituksen K: 5) sekä suureksi ammuttu tai lukkoonnutun louhe, jonka suurimpien lohcareiden keskimääräinen sivun pituus 80 cm.

Esitetty kaivuluokitus (samoin kuin kohdassa 1.332 esitetty alkuperäinen IVO-luokitus) on katsottava väliaikaiseksi. Uusi kentällä suoritettuihin tutkimuksiin perustuva luokitus on valmisteilla.

3.8 Massansiirtosuunnittelun periaatteet

Massansiirtosuunnittelulla etsitään tienrakennushankkeen massojen kuljetuskustannuksille minimiä. Kuljetustehtävän ratkaisemisessa on lineaarinen ohjelmointi yksi käytetty menetelmä, ja sitä on sovellettu myös massansiirron suunnitteluun tienrakennustyössä. Toinen menetelmä pohjautuu massakäyrän käyttöön suunnittelussa. Sekä massakäyrää että massadiagrammia ja massanjakotaulukkoa on käytetty myös pelkän kuljetustyön minimoimisessa apuna.

Tässä esityksessä ei ole pyritty antamaan tyhjentävää kuvaa massansiirtosuunnittelusta, koska asiaa on tarkasteltu perusteellisesti eräissä muissa julkaisuissa (Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus: Maa- ja vesirakennusprojektin toteuttamisvaiheen suunnittelu 7—69. Helsinki 1969. E. Viita ja S. Pietiläinen: Tienrakennustyön ohjelmointisysteemi. Tielehti 1967: 7. Valtiovarainministeriö, Järjestelyosasto: Työnsuunnitteluohjeet TSO 1, Maarakennusala) sekä tämän ohjekoelman osassa III, kohta 2.13.

3.81 LINEAARINEN OHJELMOINTI

Linearisessa ohjelmoinnissa tunnetaan jokaisen irrotettavan massayksikön siirtokustannus mihin tahansa mahdolliseen paikkaan. Tämän kustannusfunktion perusteella jaetaan leikkavat massat penkereille tai vastaville siten, että saavutetaan kuljetuskustannusten minimi. Menetelmä on

seuraava: Jaetaan leikkaukset tarkoituksenmukaisella tavalla m osaan, joiden kunkin massa L_i on tunnettu. Samoin jaetaan penkereet n osaan, joiden tunnetut massat ovat P_j . Jokaisesta leikkauksesta i ajatellaan siirrettävän jokin massamäärä x_{ij} jokaiseen penkereeseen j . Kun näiden siirtojen matkat ja kustannusten riippuvuus matkasta tai kuljetuskustannus K_{ij} sinänsä tunnetaan, voidaan tämä operaatio esittää kuljetusfunktiolla (7). Tuntemattomat massamäärät x_{ij} on nyt määrättävä siten, että K saa minimiarvon eli

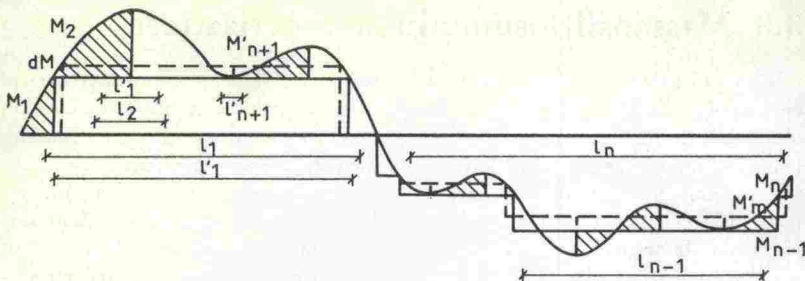
$$(7) \quad K_{\min} = \left[\begin{array}{cc} m & n \\ \sum_{i=1} & \sum_{j=1} x_{ij} (k_{ij} l_{ij}) \end{array} \right]_{\min}$$

Jokaisesta leikkauksesta i irrotettujen massamäärien x_{ij} summan on oltava yhtä suuri kuin koko leikkauksen massamäärä L_i ; saadaan m ehtoyhtälöä (8). Samoin on jokaiseen penkereeseen j tuotujen massamäärien x_{ij} summan oltava yhtä suuri kuin penkeren massa P_j ; saadaan n ehtoyhtälöä (9).

$$(8) \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = L_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$(9) \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = P_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Lineaarisen ohjelmoinnin hyväksikäyttö perustuu tietojen käsittelyyn tietokoneella. Erityisesti tienrakennus-



Kuva 40:
Massakäyrän periaatepiirros.

ja suunnittelutöitä varten on tvh:ssa kehitetty lineaariseen ohjelmointiin perustuva massojensiirronsuunnittelun tietokoneohjelma. Käsinlaskentaa varten on myös kehitetty menetelmiä. Jos leikkaukset jaetaan kovin moneen osaan, saattaa lineaarinen ohjelma sirotella leikkausmassat työn kannalta liian moneen penkereeseen. Sen takia voidaan menetellä siten, että leikkauksissa erotellaan vain eri tyyppiset massat, esim. kalliomassat, maa-massat ja kelpaamattomat massat — joista jälkimmäinenkin voidaan ”kuoria käsin pois”, jolloin käytännön tarpeisiin saadaan riittävän optimaalinen ratkaisu.

3.82 MASSAKÄYRÄ MASSANSII- RON SUUNNITTELUSSA

Kuvan 40 merkintöjen mukaan on kuljetuskustannus (K), joka tietyllä tasaussuorien asetuksella syntyy

$$(10) \quad K = M_1 l_1 k_1 + \dots + M_n l_n k_n = \sum_{i=1}^n m_i l_i k_i = \sum_{i=1}^n M_i K(l_i)$$

$K(l_i)$ on kuljetuskustannus kuljetus-
mtakan funktiona. K saa ääriarvonsa, kun K :n derivaatta M :n suhteen on nolla, eli $dK/dM = 0$.

Jos tasaussuorien asentoa muutetaan kaikkialla yhtä paljon, muuttuu jokaisessa kohteessa i käsiteltävä mas-
samäärä dM :llä. Uusi kuljetuskustan-
nus on K' (olkoon $m > n$).

$$(11) \quad K' = M'_1 l'_1 k'_1 + \dots + M'_m l'_m k'_m = \sum_{i=1}^m M'_i l'_i k'_i$$

Kuljetuskustannusten erotus $dK = K - K'$. Lisäksi on voimassa ehto (12).

$$(12) \quad M'_i = M_i \mp dM \quad (i = 1, \dots, n) \\ M'_i = \mp dM \quad (i = n+1, \dots, m)$$

dM on positiivinen, kun massakäyrä kulkee uuden tasaussuoran tai sen jatkeen (kuviossa merkitty katkoviival-
la) alapuolella, ja negatiivinen, kun käyrä kulkee tasaussuoran yläpuolella.

(13)

$$dK = M'_1 (1_1 k_1 - 1'_1 k'_1) + \dots \\ + dM (-1_1 k_1 + 1_2 k_2 \pm \dots \\ - 1'_{n+1} k'_{n+1} \pm \dots) =$$

$$\sum_{i=1}^n M'_1 (1_i k_i - 1'_i k'_i) \pm$$

$$dM \sum_{i=1}^n 1_i k_i - dM \sum_{i=n+1}^m 1'_i k'_i$$

Kun dM on pieni, voidaan merkitä

$$1_i = 1'_i \text{ ja } k_i = k'_i \text{ eli } 1_i k_i - 1'_i k'_i \\ = 0, \text{ jolloin saadaan}$$

(14)

$$dK/dM =$$

$$\pm \sum_{i=1}^m 1_i k_i \pm \sum_{i=n+1}^m 1'_i k'_i = 0.$$

Kun otetaan huomioon edellä esitetty merkkisääntö, voidaan todeta, että kuljetuskustannusten minimi saavutetaan sellaisilla tasaussuorien ase- tuksella, joille ehto (15) on voimassa.

$$(15) \quad \Sigma K(1_i^a) = \Sigma K(1_i^y).$$

$\Sigma K(1_i^a)$ on tasaussuorien alapuo- lelle jäävien massojen siirtokustannus ja $\Sigma K(1_i^y)$ on niiden yläpuolelle jää- vien massojen siirtokustannus. Koska ongelmassa ovat muuttujina tasaussuo- rien asemat, ovat positioiden i luku- määrä sekä massat M_i tuntemattomia. Tämän tehtävän hallitseminen käytän- nössä vaatii iteraatiomenetelmän hy- väksikäyttöä ja tielinjan jakamista so- piviin osiin, joiden sisällä iterointi tapahtuu.

Lukua 3 koskevaa kirjallisuutta:

Bruzelius, N. G. ym. Om komprimer- ing av jord. Statens Väginsti- tut, meddelande nr 87. Stockholm 1954.

Forssblad, L. Packning av jord- och stenfyllningar. Sundbyberg 1967.

Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus. Maa- ja vesirakennusprojektin to- teuttamisvaiheen suunnittelu 7—69. Helsinki 1969.

Johansson, S. ja Soveri, U. Om grund- vattenytans variation i Finland un- der åren 1961—1963. VTT, tiedo- tus, sarja III — rakennus 88. Hel- sinki 1965.

Kauranne, L. ja Markkula, V. Raken- nusalan kiviainekset. Rakennustek- niikka 1967: 7...8.

Keinonen, L. Maan sensitiivisyydestä ja sensitiivisten maiden ominaisuuksista. Maarakennus ja Kuljetus 1963:7.

Korhonen, K-H. Geotekniikka ja poh- jarakennus. Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Helsinki 1963.

Nordiska vägtekniska förbundet, ut- skott nr 23, arbetsgruppen. Massdis- ponering. Rapport angående grup- pens undersökning att finna en me- tod för bestämning av optimal pro- fil med avseende på masstransport- kostnaderna. Käsikirjoitus 1967.

Norges byggforskningsinstitut. Drifts- planleggring för vegbyggning. 1967.

Orama, R. Maalajien löyhtymiskerto- mista. Maarakennus ja Kuljetus 1964:2.

Svenska Byggnadsentreprenörförening- ens productionsråd. Vägbyggande året. runt. Stockholm 1963.

Tie- ja vesirakennushallitus, järjestely- toimisto. PM suoriteyksiköistä, 10. 8. 1967 HMJK/AAo. Helsinki 1967.

Tie- ja vesirakennuslaitos. Normaali- määräykset ja ohjeet, jotka koske- vat yleisten teiden suunnittelua, ra- kentamista ja kunnossapittoa. 1964.

Tie- ja vesirakennuslaitos. Tienraken- nustyöt, yleinen työselitys. Helsinki 1967.

Valtionvarainministeriö, järjestelyosasto. Työsuunnitteluohjeet TSO 1, Maarakennusala.

Viita, E. ja Pietiläinen, S.: Tienrakennustyön ohjelmointisysteemi. Tielehti 1967:7.

4. TYÖMENETELMÄKYSYMYKSET

[The text in this section is extremely faint and illegible. It appears to be a list of questions or a detailed description of work methods, but the specific content cannot be transcribed.]

Seuraavassa käsitellään maarakennustöiden työmenetelmäkysymyksiä tarkoituksena esittää pääasiassa sellaisia tietoja, joilla on merkitystä suunnittelulle sekä maaperätutkimuksien suuntaukselle.

Maarakennustyö on periaatteellisesti yleisten vakioratkaisujen käyttämistä niin tuotesuunnittelun, rakenteiden kuin työn suorituksen, tuotantoprosessin osalta. Esimerkiksi tienrakennustyössä käytetään vakioituja päällysrakennetyyppejä. Maarakennusmenetelmät puolestaan voidaan ryhmitellä tavoitellun tuloksen sekä kaluston ominaisuuksien mukaan kokoonpanoltaan lähes vakiomuotoisiin perusryhmiin, jotka edullisimmin suorittavat määrätyn työn.

Teknillisiä suunnitelmia laadittaessa on teknillisten sekä laatuvaatimusten lisäksi kiinnitettävä huomiota työtekniillisiin toteuttamismahdollisuuksiin ja siten työmenetelmiin. Itse asiassa jo tässä vaiheessa aloitetaan varsinaisen työsuunnitelman tekeminen, mm. massansiirtosuunnitelman osalta, jolloin ratkaistaan osittain käytettävät työkoneresurssityypit. Ainakin seuraavista päävaiheista tulee jo suunnitteluvaiheessa olla riittävän tarkat tiedot:

- maan irrotukseen ja kuormaukseen liittyen tiedot maan työstettävyydestä ja koneiden työskentelymahdollisuuksista
- kallion louhinnan osalta kallioaineksen porattavuus- ja louhint ominaisuuksista
- kuljetusten osalta selvitykset kuljetusteiden rakentamismahdollisuuksista

- massojen käytön suunnittelua varten tiedot niiden soveltuvuudesta rakennusmateriaaleiksi
- erikoisrakenteiden osalta koneiden käyttömahdollisuuksiin ja työajankohdan valintaan liittyvät seikat.

Rakennusvaiheeseen liittyvä varsinainen työsuunnitelma voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- työn suoritusjärjestystä ja ajoitusta osoittava aikataulu
- resurssisuunnitelma
- materiaalin käyttösuunnitelma
- kuljetussuunnitelma
- organisaatiosuunnitelma
- työn tavoitearvio.

Tarvittavat tiedot työn suoritusjärjestystä ja ajoitusta esittävän suunnitelman sekä konesuunnitelman osalta ovat pääkohdiltaan samat kuin teknillisten suunnitelmien tekovaiheessa. Koska työnsuunnitteluvaiheessa pääpaino tulee koneiden käyttökysymyksille, ovat tärkeimmät tarvittavat tiedot eri olosuhteissa saatavia työsaavutuksia koskevia. Työnsuunnitteluvaiheessa kysymyksessä on pääasiassa massansiirtosuunnitelman tarkistaminen, yhdistäminen kuljetussuunnitelmaan sekä sitominen työaikatauluun. Siten massojen työstettävyyteen kohdistuvien olosuhdetekijöiden tunteminen on välttämätöntä.

Työsuunnitelman toteutusvaiheessa tärkeimmät muutoksia aiheuttavat tekijät ovat

- työmäärissä (massoissa) tapahtuvat muutokset
- massansiirtosuunnitelman muutokset

— koneiden työsaavutuksiin vaikuttavien tekijöiden muutokset.

Massansiirtosuunnitelmassa sekä koneiden työsaavutuksissa ennakoituihin nähden tapahtuneet muutokset johtu-

vat yleensä virheellisistä ennakkoarvioista. Mikäli muutokset vaikuttavat ratkaisevasti työn kulkuun, on työ- ja tavoitesuunnitelmia näiltä osin muutettava, mikä saattaa vaatia maatutkimustulostenkin tarkistamista.

4.1 Olosuhdetekijät maarakennusprosessin eri vaiheissa

4.11 MAAN IRROTUS JA KUORMAUS

Maan irrotus- ja kuormaustyön saavutuksiin ja työjärjestelyihin vaikuttavat seuraavat maan ominaisuudet:

- maan kaivettavuus
- kaivurinnan korkeus
- maan kivisyys
- maapohjan kantavuus.

Irrotus- ja kuormaustyötä ei voida kaikkien koneiden kohdalla tarkastella omana työprosessin osana. Tämän vuoksi koneet on seuraavassa tarkastelussa jaettu kahteen pääryhmään:

- kuormaavat koneet
- irrottavat ja siirtävät koneet.

Edelliseen ryhmään kuuluvat kaivinkoneet ja jälkimmäiseen puskukoneet sekä kaavinvaunut; pyörä- ja telaketjukuormaajat luetaan tällöin kumpaankin ryhmään.

4.111 KAIVETTAVUUS

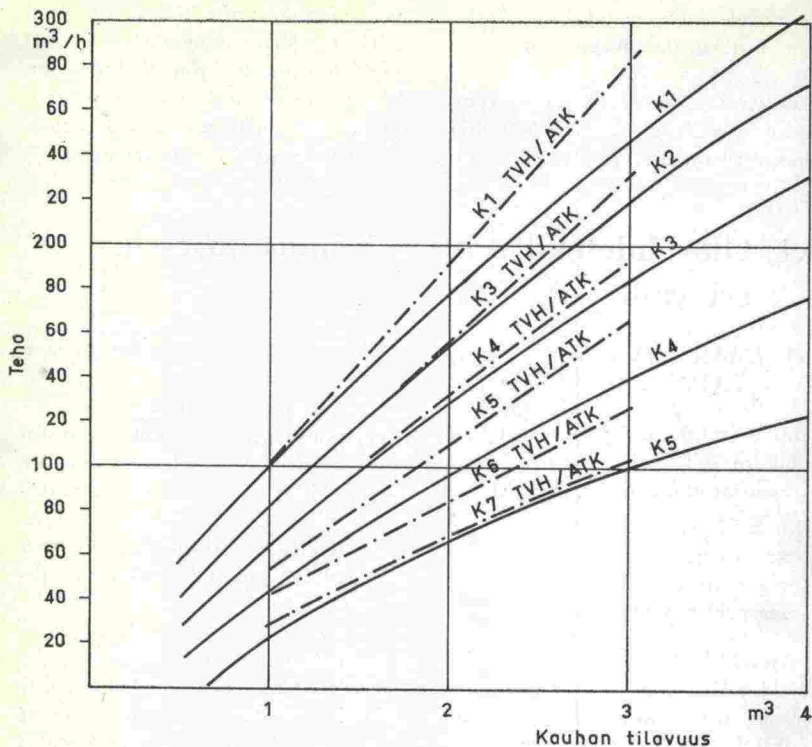
Tie- ja vesirakennushallituksessa on koneresurssin valintaa varten kehitetty ATK-ohjelma, jossa kaivettavuus on

jaettu 7 eri luokkaan. Luokittelu noudattaa Imatran Voima Oy:n luokitteluperusteita (ks. kohdat 1.3 ja 3.7). Seuraavassa tehdyt vertailut perustuvat kyseisiin jaoitteluihin. Kuvissa 41...44 on esitetty eri koneiden työsaavutuksia kauhakoon ja kaivettavuuden funktiona. Työsaavutustiedot ovat kerätyt koti- ja ulkomaisesta lähteaineistosta.

Kaivinkoneiden osalta kaivettavuuden työsaavutukset pienenevät tutkimusaineiston mukaan edullisimmista olosuhteista epäedullisimpiin mentäessä kokonaisuudessaan n. 80 % vastaten kaivettavuusluokittelussa 15...25 %:n tehon vähenemistä luokkaa kohti.

Pyörä- ja telaketjukuormaajien käyttö kuormaustyöhön tulee kysymykseen pääasiassa kaivuvaikeudeltaan 1 ja 2 luokan maissa, joissa tehoero on 35...50 % luokkaa kohti.

Irrottavien ja siirtävien koneiden osalla puskutraktorien käyttö on taloudellista kaikissa maaluokissa siirtomatkan ollessa alle 100 m. Puskutraktoreiden työteho pienenee yhtä kaivu- vaikeusluokkaa kohti n. 25...30 %, mikä tehon väheneminen johtuu kokonaisuudessaan irrotustyön vaikeutumi-



Kuva 41:

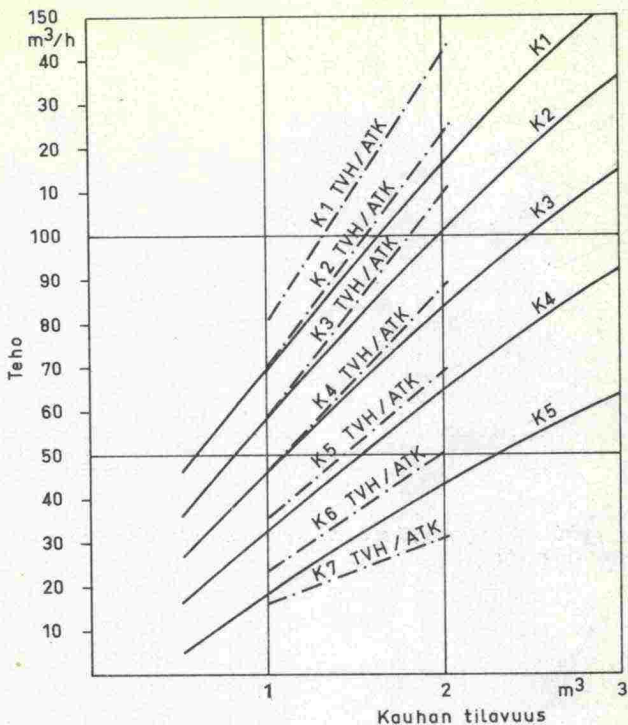
Pistokauhalla varustetun kaivinkoneen teho. Työmaan järjestely ja kuljettajan taito hyvät ($k_0 = 0.85$). Kaivinkoneen keskimääräinen käyttöaste $k_1 = 0.75$. Optimaalinen kaivurin korkeus.

sesta. Pyöräkuormaajat ovat taloudellisia maansiirrossa ainoastaan helpommin irrotettavissa maalajeissa; työteho niillä vähenee jo kolmessa helpoimmassa luokassa 40...50 % luokkaa kohti.

Tienrakennustyössä maansiirtokustannusten osuus on 45...55 % kokonaiskustannuksista. Maansiirtokustannukset jakautuvat keskimäärin siten, että niistä kuormaus käsittää 20...

35 %, kuljetus 35...60 % sekä käsittely työpaikalla 20...35 %. Kuormauksen osuus tien kokonaisrakennuskustannuksista on siten 10...15 %. Kaivu vaikeuden arviointitarkkuudelle asetettavia vaatimuksia voidaan tutkia selvittämällä, mikä merkitys kyseisellä tekijällä on tarkasteltavaan kokonaisuuteen.

Pelkästään kuormaukseen käytettävien koneiden osalta voidaan edellä



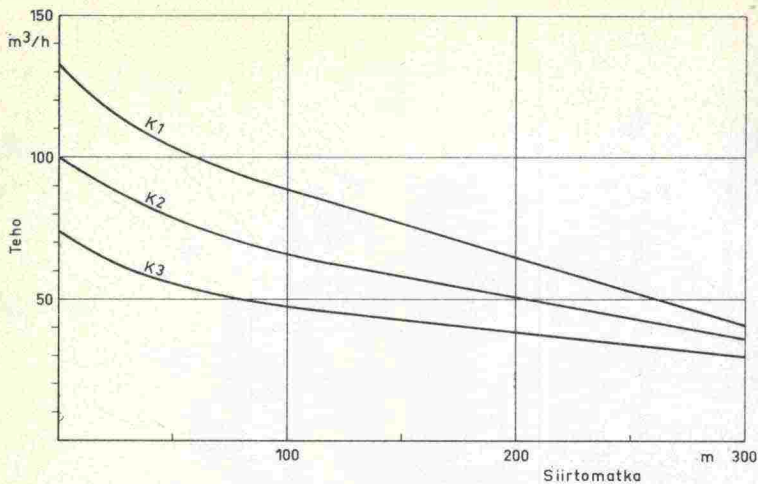
Kuva 42:

Kuokkakauhalla varustetun kaivinkoneen teho. Työmaan järjestely ja kuljettajan taito hyvä ($k_0 = 0.85$). Kaivinkoneen käyttöaste $k_1 = 0.75$. Optimaalinen kaivurinnan korkeus.

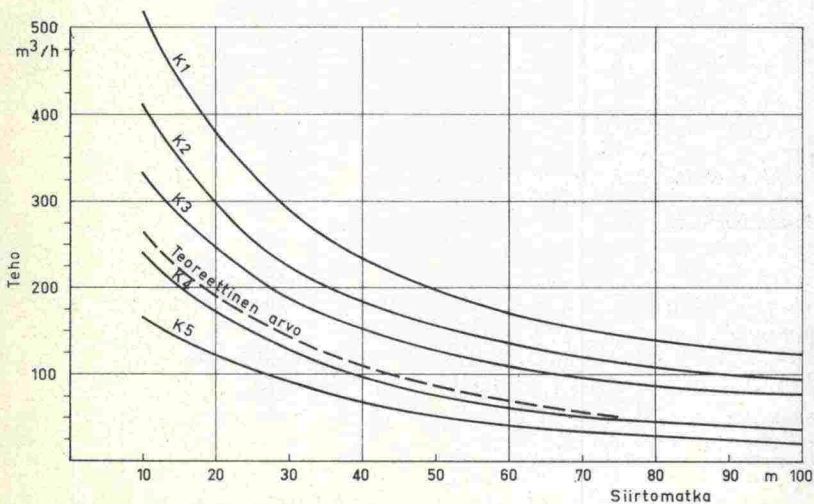
esitetyn perusteella arvioida, että kaivukoneita käytettäessä yhden kaivettavuusluokan muutos maalaadussa merkitsee 1.5...3.5 % muutosta kokonaiskustannuksissa. Kuormaajien osalta kahden ensimmäisen luokan kohdalla vastaava kustannusmuutos on 4...6 %.

Kustannusarviovaiheessa jakamalla kaivettavat maat kahteen luokkaan 1...2 ja 3...5 sekä suorittamalla

arviot kyseisen jaon keskimääräisten tietojen mukaan ei kuormauksen osalta tehty arvio ylitä virherajoja $\pm 20 \dots 30 \%$, mikä kokonaiskustannusten osalta merkitsee $\pm 2.0 \dots 5.0 \%$ tarkkuutta. Siten ennen toteuttamisvaihetta tehtävän tienrakennushankkeen kustannusarvion perustaksi riittänee mainittu jako kahteen kaivettavuusluokkaan, mikä jako on tehtävissä riittävän tarkasti pelkästään maalajin-



Kuva 43:
15 tonnin pyöräkuormaajan työteho eri kaivettavuusluokissa. Kuljetustienä keskinkertainen työmaatie.



Kuva 44:
25 tonnin puskutraktorin teho siirtomatkan ja kaivuvaikeuden funktiona.

tuntemuksen perusteella. Samoin kun teknillisiä suunnitelmia ja kustannusarviota laadittaessa tehdään alustava työsuunnitelma, riittää kyseisen kahden luokan kaivuvaikeusluokittelua resurssityyppien valitsemiseksi.

Mentäessä työsuunnitteluasteelle tai jos kysymyksessä on pelkästään yksittäisen kohteen maansiirtotyön arvioinnista vaatimustaso ennakkotietoihin nähden kasvaa. Tällöin on kysymyksessä työsuunnitelman ja yksityiskohdallisen tavoitearvion tekeminen, jossa irrotus- ja kuormaustyön arvioissa mahdollisesti tehtävät virheet merkitsevät suhteellisesti paljon enemmän kokonaistulokseen. Siksi työsuunnitteluja siihen verrattavissa olevalla arviotasolla on käytettävä tarkempaa luokittelua kuin kokonaiskustannusarviota laadittaessa.

5-jakoisessa luokittelussa merkitsee kaivukoneiden osalta yhden kaivuluokan muutos $\pm 10 \dots 15\%$ muutosta kustannuksiin, toisin sanoen kustannusennusteessa päästään vaikuttamaan $10 \dots 15\%$ kustannuksista. Huomioon ottaen mm. kuljettajan ammattitaidosta, koneen kunnosta yms. johtuvat arvaamattomat tekijät, joiden yhteisvaikutus saattaa olla jopa kaksinkertainen edelliseen verrattuna, ei kyseistä tarkempaan luokitteluun pyrkiminen kaivinkoneiden osalta näytä tarkoituksenmukaiselta.

Kuormaajien teho pienenee $30 \dots 40\%$ yhtä kaivettavuusluokkaa kohti, ja kuormaajien käyttö tulee luokissa $3 \dots 5$ epätaloudelliseksi. Sama piirre on ominaista muillekin heikon irrotustehon omaaville koneille kuten kaavinvaunut, pienet kaivinkoneet jne.

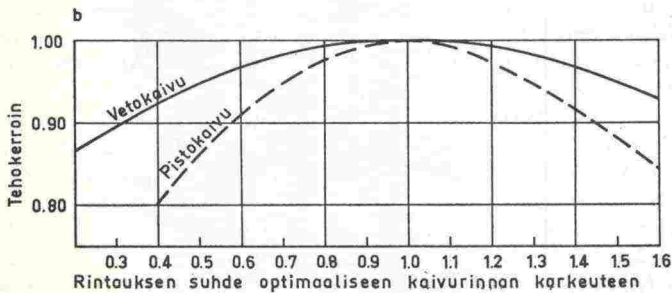
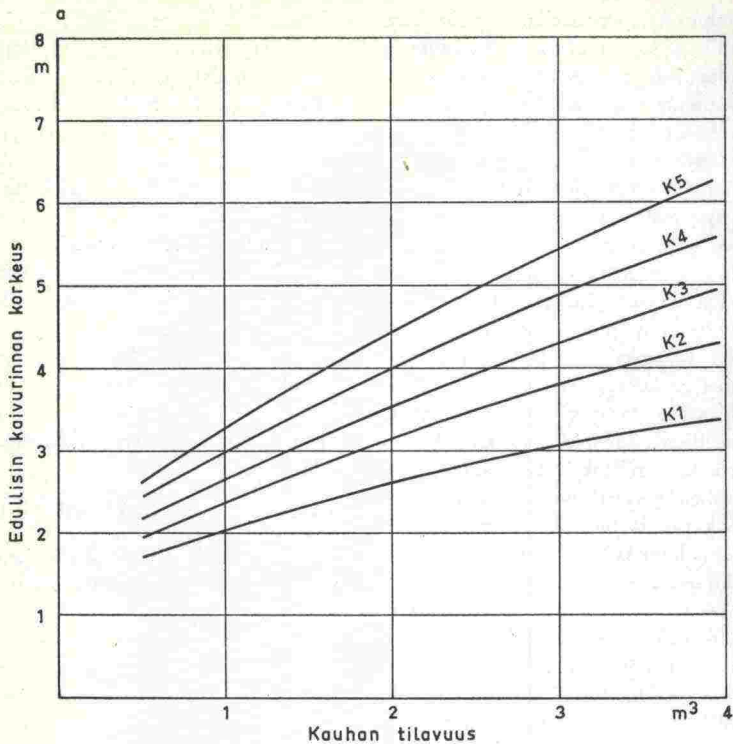
Näiden osalta ennakkotutkimuksilla tulisi ensi vaiheessa selvittää käyttömahdollisuudet määräävä rajakohta eli tehdä perusjako luokkiin $1 \dots 2$ ja $3 \dots 5$. Sen sijaan muiden konetyyppien osalta tilanne on toinen. Varsinaista työsuunnittelua varten on ao. koneiden käyttöalueen eli kaivettavuusluokkien $1 \dots 2$ jakoa tarkennettava, jolloin näiden jakaminen esimerkiksi kolmeen luokkaan tulee kysymykseen. Ojitus-, perkaus- ym. pääasiassa helpommin kaivettaviin maakerroksiin kohdistuvissa töissä saadut käytännön kokemukset tukevat mainittua jakoperusteiden tarkistusta.

4.112 KAIVURINNAN KORKEUS

Varsinaisesti kaivurinnan korkeuden valinta kuuluu paikallisiin työnjärjestelyihin.

Kuitenkin eräissä tapauksissa saattaa massojen laadun ja käyttötarkoituksen muuttuminen pakottaa työsuunnittelijan määrittelemään leikkausvyvyden, jolloin rinnankorkeuden vaikutus työtehoon on tunnettava.

Kuvassa 45 on esitetty kaivinkoneen optimaaliset rinnankorkeudet kaivettavuuden funktiona sekä tehon muuttuminen rintauksen korkeuden muuttuessa. Käyristä voidaan todeta, että esim. 1 m^3 pistokauhalla varustetun kaivinkoneen kohdalla rintauksen muuttuminen keskimääräisestä 2.5 m optimikorkeudesta 1.0 m :iin merkitsee kaivutehossa 20% pienevistystä. Tehon aleneminen vastaa likimain yhden kaivettavuusluokan muutosta. Siten suurien leikkaustöiden osalta on työsuunnittelijan tun-



Kuva 45:

- a. optimaalinen kaivurinnan korkeus kaubakoon ja maan kaivu vaikeuden funktiona.
 b. kaivutehon muuttuminen rintauksen korkeuden funktiona.

nettava eri tarkoituksiin käytettävien massojen kerrosrakenteet.

Kuten kuvasta 45 ilmenee, vaihtelee optimikorkeus kaivuvaikeuden mukaan. Keskimääräistä luokkaa K3 vertailuperusteena käytettäessä on tehon vaihtelu kokonaisuudessaan $\pm 5\%$. Siten käytännössä kaivettavuuden vaihtelut eivät vaadi kaivurinnan muuttamista.

4.113 KIVISYYS JA LOHKAREISUUS

Kivisyys vaikuttaa irrotus- ja kuormaustyöhön kahdella tavalla: maa on vaikeampaa irrottaa kivisyyden kasvaessa ja kuormausteho pienenee lohkokarkoon suureta.

Kaivettavuusluokittelussa kivisyyden vaikutus tulee suurelta osin otetuksi huomioon. Ainakin kivisyys tulee seismisissä ja mekaanisissa kaivettavuuskokeissa näkyviin. Sen sijaan lohkaraisuuden vaikutus irrotustyöhön sekä ennen kaikkea kuormaustyöhön on kaivettavuusluokittelussa jäänyt vähemmälle huomiolle. Helpommin kaivettavien pintamaiden osalta lohkaraisuuden määrittely prosentteina tai kappalemääräksi jaoteltuina luokkiin alle 0.5 m^3 , $0.5 \dots 1.0 \text{ m}^3$ ja yli 1.0 m^3 voidaan selvittää mittauksin ja koe-kuoppien avulla. Sen sijaan syvemmillä olevien maakerrosten osalta määrittely on vaikeata.

4.114 MAAPOHJAN KANTAVUUS

Maapohjan kantavuus liittyy oleellisesti käytettävien koneiden valintaan.

Maapohjan laatu on selvitettävä nimienomaan työolosuhteet huomioon ottaen. Peruslähtökohdaksi soveltuu hyvin tvh:n käyttämä kantavuusluokittelu (ks. kohta 1.2). Tällöin A-, B- ja C-luokan pohjalla ei yleensä esiinny rajoituksia koneen käyttöön nähden.

Sen sijaan D-, E- ja F-luokan maiden osalta on työpohjana toimivan perusmaan kantavuus työkoneiden valintaa silmälläpitäen tarkistettava.

Maaleikkaustöiden hankekohtaisina tutkimuksina tulisi selvittää seuraavat kohdat:

- Kaivettavuus vähintään 5-jakoisen luokittelun pohjalla, jolloin kustannusarviovaiheessa ainakin luokkiin 1...2 ja 3...5 jaoteltuna.
- Erilaatuisten maakerrosten paksuudet materiaalien käyttötarkoitusten ja työvaiheiden mukaan jaoteltuina.
- Maan lohkaraisuus joko prosentteina tai kappalemäärinä jaoteltuna luokkiin alle 0.5 m^3 , $0.5 \dots 1.0 \text{ m}^3$ ja yli 1.0 m^3 lohkarieet.
- Maapohjan kantavuus työpohjana toimivan kerroksen osalta sekä, jos kysymyksessä on hienojakoinen maalaji, sen häiriintymisherkyys.

4.12 KALLION IRROTUS JA KUORMAUS

Prosessituotannon tunnusmerkit maarakennustyön piirissä tulevat ennen kaikkea esille louhintatöiden yhteydessä. Varsinaisen "tuotteen", leikkauksen, laatuvaatimusten lisäksi on irrotettavan louheen lohkarieko sovitettava kuormaavalle ja jalostavalle

kalustolle sopivaksi, irrotustehon tulee sopeutua myöhempien osaprosessien tehoon jne. Siten ennakkotietojen tarpeellisuus työn kokonaisuuden hallinnan kannalta on louhintatöiden osalta ensiarvoisen tärkeää.

Louhintatyön suoritukseen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu melko vähän. Suurelta osin puuttuvat vielä varsinaisten olosuhdetekijöiden perusselvitykset samoin kuin eri tekijöiden osalta tarkemmat tiedot niiden vaikutuksesta. Käytettävissä olevat tiedot ovat suurimmaksi osaksi hajanaisilla tutkimuksilla, jälkilaskennalla sekä analyttisin keinoin koottuja, joilla ei tilastollisessa mielessä ole kovin suurta tarkkuutta.

Louhittavuuteen vaikuttavat lähinnä seuraavat kallion ominaisuudet:

- porattavuus
- irrotettavuus
- kallion pysyvyys
- murskautuvuus

Porattavuuden perusteella voidaan arvioida poran tunkeutumisenopeus kallioon. Irrotettavuus liittyy pääosintaan tarvittavaan räjähdysainemäärään, mihin voidaan työn kuluessa vaikuttaa panosten sijoittelulla sekä reikäväliä muuttamalla. Kallion pysyvyyden avulla voidaan arvioida tukemistarve ja louhintajälki. Murskattavuus puolestaan ratkaisee lohkokoon suuruuden.

Kallion ominaisuuksia on käsitelty myös osassa I, kohta 2.2. Edelleen vaativien kalliorakenteiden (luolat ym.) suunnittelua ja rakentamista on käsitelty myös osassa IV, kohta 3.4.

4.121 KALLION PORATTAVUUS

Kallion porattavuuteen vaikuttavat:

- kallion laatua kuvaava tunkeutumisluku
- kallion rikkonaisuus

Porakoneiden tunkeutuminen kalliioon riippuu kallion laadun ohella käytettävästä porakonetyypistä. Jotta kallion laatu voitaisiin yksikäsitteisesti määritellä, on tunkeutumisluvun määrittämisen perusteeksi valittava malliperuskone. Ruotsissa tunkeutumisluvun perusteena on käytetty Atlas Copco-porakoneen RH 656 33 mm kovametalliporan tunkeutumaa (cm/min) ilmanpaineen ollessa 6.5 At.

Kun tunnetaan muun porauskaluston ja kyseisen mallikoneen väliset riippuvuudet, on mahdollista selvittää ennakkokokein kallion laadun vaikutus porattavuuteen. Tässä yhteydessä käytetyt tunkeutumisluvut perustuvat ko. ruotsalaiseen määrittämään.

Tunkeutumisluvulle on suoritetuissa kokeissa saatu seuraavia arvoja (cm/min):

kvartsiitti	25
graniittigneissi	40
kiillegneissi	40
graniitti	45
rapakivigraniitti	50
graniitti ja gneissi ruots.	
tutk. mukaan	30 . . . 40.

Kokeellisesti on tehty vertailuja eri porakoneiden tunkeutumisenopeudesta porareian ja ilmanpaineen funktiona. Taulukossa 20 on esitetty tvh:n resurssien valintaohjelmaan liittyvät tun-

keutumislukuja 40 ja 30 vastaavat kahden porakonetyypin tunkeutumisoikeusarvot.

Tunkeutumisluvun vaikutus kokonaiskustannuksiin määräytyy varsinaisen porausajan funktiona. Siten tässä tapahtuvien muutosten tarkastelua varten on selvitettävä eri työvaiheiden keskinäiset suhteet. Eräiden jälkilaskentaluonteisten tutkimusten perusteella on kevyen telakoneen kokonaisporausajan jakautumaksi saatu seuraavat tulokset:

	min/jm	%
Poraus	2.5...3	40...50
Kankien vaihto		
yms.	1.5...2.5	30...40
Reiän vaihto ..	1 ...1.5	15...25
Yht. 5 ...6.5		100

Erityisesti on korostettava, etteivät kyseiset aika-arvot perustu työntutkimustuloksiin eikä niillä ole laajempaa tilastollista merkitystä.

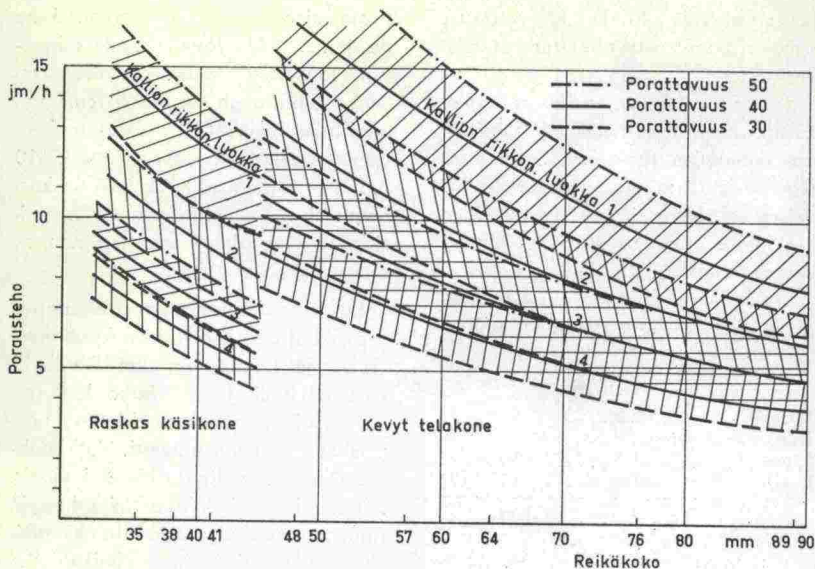
Esitetyn mukaisesti poraukseen ku-

luvan ajan osuus koko porausajasta on 40...50%. Jos oletamme esimerkiksi mukaisen kallion peruskoneen tunkeutumisluvun olevan 40 cm/min, merkitsee 10 cm/min muutos tunkeutumisluvussa koko porausajasta $\pm 10 \dots 12\%$ muutosta. Koska pääosa kustannuksista on aikakustannusluonteisia, on kokonaiskustannusten muutos samaa suuruusluokkaa.

Edellä todetun perusteella tuntuu perustellulta louhintatöiden kustannusarvion ja työnsuunnittelun lähtökohdaksi selvittää, poikkeavatko louhittavan kallion tunkeutumisluvut normaaliarvosta huomattavasti. Tutkimukset tähtäävät tällöin lähinnä kivilajin selvittämiseen, jolloin edellä esitettyjä tunkeutumislukuja voitaisiin käyttää. Yleisille graniitti- ja gneissikallioille käytettäisiin keskimääräistä lukuarvoa 40...50 cm/min. Ainoastaan erikoiskivilajien kohdalla olisivat tarkemmat tutkimukset tarpeen. Kyseisellä menet-

Taulukko 20. Kahden porakonetyypin tunkeutumisoikeusarvot (cm/min) tunkeutumisluvuilla 30 ja 40.

	Porareian halkaisija (mm)							
	35	38	41	48	57	64	76	89
Käsikone								
— tunkeutumis- luku	40	44.5	37.9	32.6				
— tunkeutumis- luku	30	33.5	28.5	24.5				
Kevyt telakone								
— tunkeutumis- luku	40			59.9	42.5	33.6	23.9	17.5
— tunkeutumis- luku	30			44.9	31.9	25.3	17.9	13.1



Kuva 46:

Porausteho reikäkoon, porattavuuden ja kallion rikkonaisuuden funktiona. Poraustehoarvoon sisältyy kankien vaihtoon kulunut aika (2 min/jm Imatran Voima Oy:n tutkimuksien mukaan).

telyllä päästäneen käytännön tarkkuutta vastaaviin lopputuloksiin.

Kallion rikkonaisuus olosuhdetekijänä on vähemmän tunnettu kuin edellä käsitelty tunkeutumisluku. Kuitenkin käytännössä saatujen kokemusten mukaan sen vaikutus on huomattava, tvh:n resurssitietokoneohjelmassa rikkonaisuusmäärittäminen on jaettu 4 luokkaan seuraavasti:

- Luokka 1. Pintaan asti ehyt kallio,
- Luokka 2. Pintaosaltaan rikkonainen kallio,
- Luokka 3. Syvälle ulottuvia halkeamia,

Luokka 4. Kalliossa voimakkaita halkeamia ja suuria, lähes irrallaan olevia lohkeareita.

Kuvassa 46 on esitetty raskaan käsikoneen ja kevyen telakoneen poraustehoarvot reikäkoon, tunkeutumisluvun ja kallion rikkonaisuuden funktiona (poraustehoon on sisällytetty kankien vaihtoon yms. kuluva aika). Perustiedot ovat tvh:n resurssien valintaohjelman mukaiset. Kuten käyristä on todettavissa, käsikoneella kalliion rikkonaisuusluokat sivuavat likimain toisiaan tunkeutumisluvun vaihdella rajoissa 30...50 cm/min eli

yhden rikkonaisuusluokan vaikutus on sama kuin tunkeutumisluvun muutos 20 cm/min; kevyellä telakoneella rikkonaisuuden vaikutus on jonkin verran pienempi vaihdellen 10...15 cm/min luokassa. Aikaisempiin arvioihin viitaten voidaan siten todeta, että käsikoneella yhden rikkonaisuusluokan vaikutus on työaikaan ja siten likimain myös kustannuksiin \mp 25 % muutosta sekä kevyellä telakoneella vastaavasti \mp 10...12 % muutosta.

Tvh:n maatumkimustoimistossa on kehitetty itävaltalaisen Müllerin luokittelun pohjalla tästä yksinkertaistettu ja samalla täydennetty louhittavuusluokittelu, mikä on esitetty taulukossa 21 (vrt. myös osa I kohta 2.2).

Luokittelussa on otettu huomioon sekä kallion rikkonaisuus että rapautuneisuus. Etuna luokittelussa on, että kallion laatu voidaan maasto- ja laboratoriotutkimuksin selvittää ja siten silmämääräiskokeiden epämääräi-

Taulukko 21. Kallion louhittavuusluokitus.

Rikkonaisuus	Ehyt kallio I	Normaali kallio II	Rikkonainen kallio III	Ruhjoutunut kallio IV
Rapautuneisuus	$V_k \sim 10^9 \text{ cm}^3$	$V_k \sim 10^6 \text{ cm}^3$	$V_k \sim 10^3 \text{ cm}^3$	$V_k \sim 1 \text{ cm}^3$
Terve kallio $\sigma_p > 1500 \text{ kp/cm}^2$	A $v_1 > 4600 \text{ m/s}$ $k \sim 0 \text{ lug}$	$v_1 4200 \dots 4500 \text{ m/s}$ $k 2-10 \text{ lug}$	$v_1 3600 \dots 4100 \text{ m/s}$ $k 10-20 \text{ lug}$ tuettava	$v_1 2800 \dots 3500 \text{ m/s}$ $k > 25 \text{ lug}$ tuettava porat tarttuvat
Alkava rapautuminen $\sigma_p 1500-500 \text{ kp/cm}^2$	B $v_1 3800 \dots 4000 \text{ m/s}$ $k 0 \dots 2 \text{ lug}$ mahd. tuettava	$v_1 3400 \dots 3700 \text{ m/s}$ $k 5 \dots 10 \text{ lug}$ mahd. tuettava	$v_1 2900 \dots 3300 \text{ m/s}$ $k 15 \dots 25 \text{ lug}$ tuettava porat tarttuvat	$v_1 2200 \dots 2800 \text{ m/s}$ $k > 30 \text{ lug}$ tuettava porat tarttuvat revittävissä
Rapautunut kallio $\sigma_p < 500 \text{ kp/cm}^2$	C $v_1 3200 \dots 3500 \text{ m/s}$ $k 0 \dots 5 \text{ lug}$ tuettava revittävissä	$v_1 2800 \dots 3100 \text{ m/s}$ $k 10 \dots 20 \text{ lug}$ tuettava porat tarttuvat revittävissä	$v_1 2300 \dots 2800 \text{ m/s}$ $k 20 \dots 30 \text{ lug}$ tuettava porat tarttuvat revittävissä	$v_1 < 2200 \text{ m/s}$ $k > 40 \text{ lug}$ tuettava revittävissä

V_k ehyiden kalliolohkojen keskikoko cm^3

v_1 kallion seisminen nopeus m/s

δ_p puristuslujuus kp/cm^2

k vedenläpäisevyys $\text{Lug} = L/\text{m}$ 10 aty min

sydestä päästä eroon. Luokittelussa on kallion rikkonaisuus määritelty ehyiden kalliolohkojen keskikoon ja rapautuneisuus kallion puristuslujuuden mukaan.

Luokittelun soveltaminen käytäntöön vaatii lisätutkimuksia. Luokat ovat yksikäsitteisesti määriteltävissä, mutta esim. eri luokkien vaikutus porausteeseen on selvittämättä. Alustavasti voitaneen olettaa, että uuden luokittelun luokat BI—BIV vastaavat likimain tvh:n resurssien valintaohjelman rikkonaisuusluokkia.

4.122 IRROTETTAVUUS

Irrotettavuus on riippuvainen kiven mineraalikoostumuksesta ja rakenteesta sekä louhoksen mitoista. Irrotettavuutta ei nykyisin voida luokitella suoraan työmenetelmien valinnan perusteeksi. Yleensä kivilajin, rikkonaisuuden ja lustoisuuden perusteella arvioidaan työtapaa ja tehtyjä arvioita tarkennetaan koeräjäytyksin.

4.123 KALLION PYSYVYYS

Kallion pysyvyydestä on taulukossa 21 esitetystä luokituksessa likimääräiset arviot. Pääosiltaan louhoksen tukestarve ja louhintajälki riippuvat kalliion lohkeamissuunnan ja louhoksen suunnan välisestä suhteesta. Pysyvyyteen nähden tulisi tutkimustuloksissa rikkonaisuuden lisäksi ilmaista pääarakosuunnat sekä kalliion lohkeamissuunta.

4.124 MURSKAUTUVUUS

Murskautuvuudella arvioidaan räjäytyksessä syntyvän louheen koko. Murskautuvuutta voidaan arvioida räjäyttämällä kalliosta tehdyn sepelin sisällä koepanos. Yleensä kuitenkin arviot tehdään kivilajintuntemuksen perusteella ja poraustapaa muutetaan tarpeen vaatiessa työn kuluessa. Tarkeimmat perusteet luokitteluun ja ennakkokokokeisiin puuttuvat.

Kallioleikkausten hankekohtaisina tutkimuksina tulisi edellä esitetyn mukaan selvittää seuraavat kohdat:

- Kalliopinnan asema.
- Kallion tunkeutumisluku joko erikoistutkimuksin tai kivilajin perusteella arvioiden:
 - luokka alle 30 cm/min
 - luokka 30 . . . 50 cm/min
 - luokka yli 50 cm/min.
- Kallion rikkonaisuus ja rapautuneisuus edellä esitettyjen luokitusten puitteissa.
- Kallion pääarakosuunnat.
- Kallion lohkeamissuunta.

4.2 Maansiirto ja kuljetus

Tärkeimpiä osia maarakennustyön tuotantoprosessissa kustannusmuodotuksen kannalta katsoen ovat kuljetustyöt. Merkitsehän niiden osuus kokonaiskustannuksista keskimäärin 45... 55 %, jolloin on otettu huomioon pelkästään kuljettavien laitteiden suorittama työ. Kun tähän lisäämme sekä irrottavien että kuljettavien koneiden tekemät, pääasiallisesti lyhyet siirtotyöt, saattaa maansiirto- ja kuljetustöiden osuus nousta 60...70 % saakka.

Maansiirtoa ja kuljetuksia tarkasteltaessa probleema on jaettava kahteen osaan, nimittäin käytettävän työmenetelmän valintaan, jolloin kuljetusten kannalta ratkaistaan ensi sijassa, suorittaako irrottava kone myös siirron ja minkä tyyppistä kuljetuskalustoa käytetään, sekä toisaalta varsinaisen kuljetuksiin vaikuttavien tekijöiden selvitykseen, joita tekijöitä ovat kuljetusmatkan pituuden lisäksi tien laatu, nousut, maapohjan laatu, kuljetettavien materiaalien laatu jne. Koska kysymykset ovat perusluonteeltaan toisistaan poikkeavia, käsitellään niitä seuraavassa erillisinä.

4.21 TYÖPROSESSIN KOKONAISKUSTANNUKSET

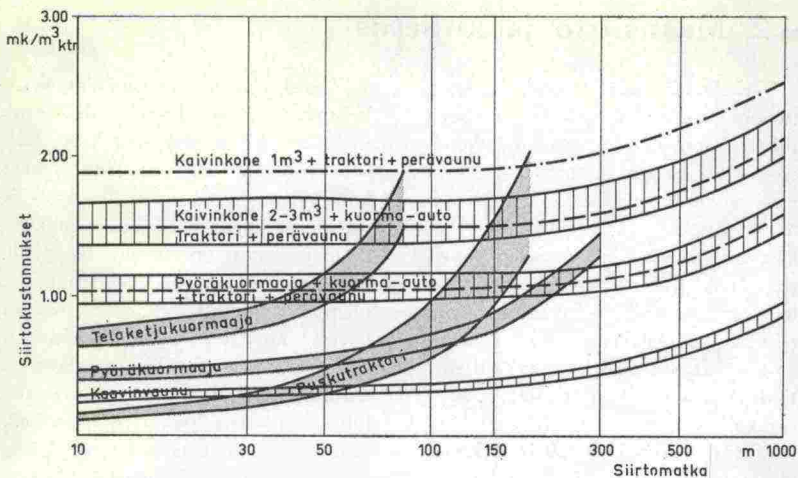
Maarakennustyön työmenetelmiä keskenään verrattaessa on periaatteessa ajateltava siirrettävän massayksikön käsittelyä työn valmisteluvaiheesta aina sen sijoittamiseen lopulliseen asemaansa.

Maansiirron osalta ensimmäisenä ratkaistavana kysymyksenä tulee esille siirtotapa. Periaatteellisesti kustannuksiltaan halvin siirtotapa saavutetaan, kun kuljettava laite samalla myös irrottaa materiaalin. Kaavinvaunuja lukuunottamatta on tämän tyyppisillä laitteilla puutteena useimmiten niiden pieni kapasiteetti ja nopeus, jolloin käyttö rajoittuu vain lyhyehköihin siirtomatkoihin. Samoin irrottavat ja siirtävät laitteet ovat puskutraktoria lukuunottamatta irrotusteholtaan heikkoja, joten niiden taloudellinen käyttö rajoittuu helpoimpiin maalajeihin.

Varsinaisen kuljetuskaluston osalta ratkaistavat kysymykset ovat kaluston tyyppi, koko sekä määrä. Kuljetuskaluston tyyppin määrittelevät kuljetusmatka, kuljetustien laatu ja kunto sekä kuormaavien koneiden suuruus, kun taas kuljetuslaitteiden koko ja teho ovat riippuvaisia luonnollisesti kuormaavien koneiden tehosta sekä kuljetusmatkan pituudesta ja ajonopeudesta sekä kuljetuslaitteiden lukumäärästä.

Eri työmenetelmien keskinäistä vertailua varten on tvh:ssa kehitetty tietokoneohjelma, jonka avulla on mahdollisuus valita tietyin reunaehdoin työhön soveltuvat optimiresurssit. Simuloimalla eri vaihtoehtoja käyttäen on tämän työn yhteydessä laskettu maansiirtokustannukset muutamien resurssiryhmien osalle. Muuttujina on tällöin käytetty seuraavia tekijöitä:

Kaivuvaikeus-
luokat 1, 4, 7 (tvh).



Kuva 47:

Resurssiryhmien kustannusvertailu: Kaivuvaikeusluokka 1 (tvh).

Siirtomatka 10 ... 1000 m.

Rinnankorkeus 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 5,0 m.

Resurssiryhmä:

- Kaavinvaunu 10 m³ ja 20 m³.
- Puskutraktori 15 t ja 25 t.
- Pyöräkuormaaja 15 t ja 25 t.
- Pyöräkuormaaja 25 t + traktori + 8 t perävaunu.
- Pyöräkuormaaja 25 t + 6 t kuorma-auto.
- Kaivinkone 2 m³ + traktori + 8 t perävaunu.
- Kaivinkone 1 m³ + traktori + 8 t perävaunu.
- Kaivinkone 2 m³ + 6 t kuorma-auto.
- Kaivinkone 1 m³ + 6 t kuorma-auto.

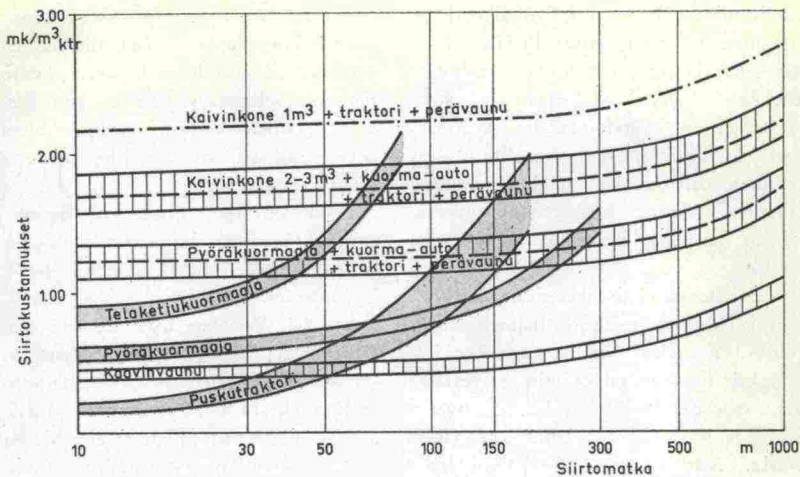
Esitettyjen pääresurssien lisäksi laskelmissa on otettu huomioon apuko-

neet. Kuljetustieksi on oletettu työmaatie, jolla käytetty ajonopeus on 20 ... 30 km/h. Laskelmien pohjana olevat tehoarvot ovat aikaisemmin esitettyjen mukaisia.

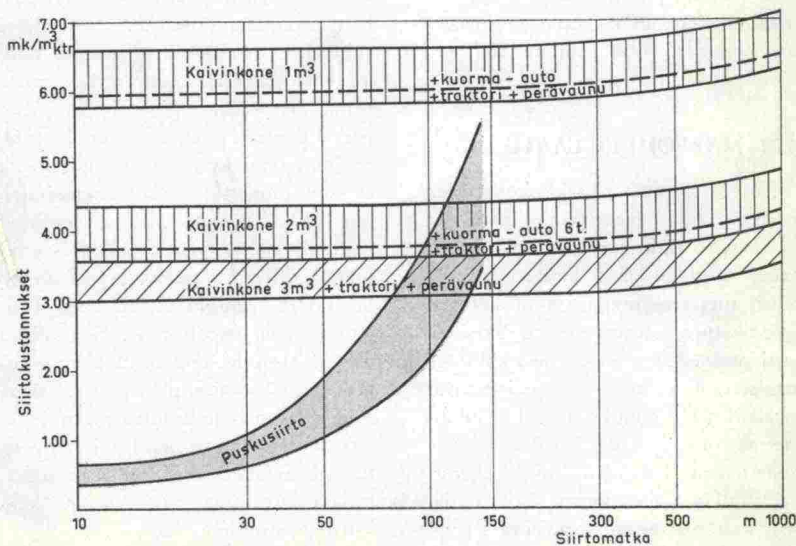
Laskelman tulokset on esitetty kuvissa 47 ... 49.

Yleispiirteinä voidaan todeta, että aina 200 metriin saakka ovat erillistä kuljetuskalustoa vaativat siirtomenetelmät epätaloudellisia. Mikäli jätetään meillä harvinaiset kaavinvaunut tarkastelun ulkopuolelle, on halvin maansiirtotapa aina 70 ... 100 metriin pyöräkuormaaja. Kuljetuskaluston osalta on annettujen ehtojen vallitessa traktori-perävaunuyhdistelmä 8 ... 10 % kuorma-autoa halvempi.

Kaivuvaikeuden muutos ei mainittavassa määrin vaikuta eri pääryhmien keskinäiseen järjestykseen. Sen sijaan joidenkin resurssiryhmien käyttömah-



Kuva 48:
Resurssiryhmien kustannusvertailu. Kaivuvaikeusluokka 3 (tvh).



Kuva 49:
Resurssiryhmien kustannusvertailu. Kaivuvaikeusluokka 7 (tvh).

dollisuudet vähenevät kaivuvaikeuden lisääntyessä. Siten esimerkiksi kaavinvaunujen ja kuormaajien käyttäminen luokkaa 4 (tvh) vaikeammissa olosuhteissa on epätaloudellista ja jopa mahdotonta. Puskusiirron osalta taloudellinen siirtomatka kaivinkoneauto-siirtoyhdistelmään verrattuna jonkin verran pienenee kaivuvaikeuden kasvaessa.

Vertailtaessa kaivinkoneiden keskinäistä suhdetta toisiinsa nähden käytöksistä selvästi ilmi suurten koneiden edullisuus. Helpommin kaivettavissa maalajeissa (luokat 1...3) ovat 2 m³ ja 3 m³ koneet lähes samanarvoisia. Sen sijaan vaikeakaivuisissa maissa 3 m³ kaivinkone teoreettisten laskelmien mukaan on jo selvästi edullisin. 1 m³ suuruusluokan koneet ovat selvästi epätaloudellisempia ja mitä vaikeammin kaivettavasta maasta on kysymys, sitä suuremmaksi ero muodostuu.

4.22 MAAPOHJAN LAATU

Kuormauskaluston sekä kuljetusten suunnitteluun vaikuttaa työpohjan kantavuus ratkaisevasti. Tällöin on maan luonnontilaisen kantavuuden lisäksi otettava huomioon maapohjan työaikainen häiriintyminen. Varsinaisesti probleeman muodostavatkin työaikaisesta käsittelystä juoksettuvat maalajit. Luonnontilassa niiden lujuus saattaa olla riittävä kestäämään niin rakenteiden, koneiden kuin kuljetuskalustonkin aiheuttaman kuormituksen, mutta kun niitä suojaava kasvilisuuspeite tai kuivakerros on poistettu, ne työpohjana velliytyvät ja muo-

dostavat usein täysin kelvottoman pohjan koneille ja työmaateille. Kyseiset maalajit ovat lieju, liejusavi, liejuinen hiesu, lihava savi, laiha savi, hiesu, hietainen hiesu, hiesuinen hieta sekä runsaasti savi- ja hiesulajitteita sisältävät moreenit.

Hienojakoisten maalajien ominaisuutta menettää lujuuttaan sekoitettaessa arvostellaan käsitteellä herkkyyssaste eli sensitiivisyys, ks. osa I, kohta 2.1. Voidaan arvioida, että sensitiivisyyden ollessa alle 8 maapohja on työ- ja kuljetusteiden pohjana suhteellisen kestävä. Sen sijaan sensitiivisyyden noustessa yli 16 maapohja ei kestä tärinän ja toistuvan kuormituksen alaisena ilman erikoistoimenpiteitä.

Savi- ja hiesupitoisten maalajien sensitiivisyyden määrittely on normaalien maaperätutkimusten yhteydessä suhteellisen helppoa. Riittävään tarkkuuteen päästään usein myös vertaamalla maapohjan vesipitoisuutta joko paikalta otetun näytteen avulla määritelyihin tai kyseisen maalajin osalta ennalta tunnettuihin konsistenssirajoihin. Mikäli luonnontilainen vesipitoisuus on lähellä juoksurajaa (hienouslukua) tai sitä suurempi, voidaan lähes täysin varmasti olettaa maapohjan juoksettuvan työalustana. Sen sijaan vaikka vesipitoisuus olisikin huomattavasti juoksurajaa pienempi, ei tämä sulje pois mahdollisuutta maan juoksettumisesta. Maan sensitiivisyys saattaa olla rakenteellista, mikä on todettavissa ainoastaan normaalien leikkauslujuustutkimusten avulla.

Kohdassa 3.31 esitetystä taulukosta 18 on eräiden yleisempien sensitiivis-

ten maalajien normaalit luonnontilaiset sekä toisaalta niiden kieritys- ja juoksurajaa vastaavat vesipitoisuudet. Kuten taulukosta voidaan havaita, ovat useimmat savilajit meidän olosuhteissamme luonnontilassa lähellä juoksurajaa ja em. luokittelun mukaan sensitiiviteitiltään joko hyvin herkkiä tai yliherkkiä.

Maapohjan häiriintymisherkkyyden selvittäminen on välttämätöntä niin kuljetusteiden suunnittelua kuin resurssien valintaakin silmälläpitäen. Kuljetustiet voidaan ohjata kulkemaan ulkopuolelle alueiden, joiden osalta on vaaraa pohjan pettämisestä. Myös ennakoita kuljetusteitä tehtäessä voidaan varautua tähän. Ennakoivina toimenpiteinä saattavat tulla kysymyksen maan pintakerrosten ja kasvillisuuden säilyttäminen samoin kuin maan stabilointi. Sensitiivisyydeltään herkissä ja yliherkissä maissa on leikkauspohjalla työskentelevien koneiden käyttö mahdotonta, jolloin mm. kaavinvaunut, pyöräkuormaajat sekä pistokauhalla varustetut kaivinkoneet jäävät vaihtoehtoina pois. Kun mainitut resurssit juuri helpokaivuisissa maissa ovat teholtaan ja siten myös kustannuksiltaan edullisimpia, on seikalla merkitystä jo alustavaa työsuunnitelmaa laadittaessa.

4.23 KUORMA-AUTO-KULJETUKSET

Esitetyt kustannusvertailut on tehty olettaen, että kuljetustiet vastaavat normaaleja työmaaolosuhteita (ajonopeus 20...30 km/h). Mikäli kuljetustiet paranevat oleellisesti, eri kuljetustapojen keskinäiset suhteet muut-

tuvat. Tällöin kuorma-autokuljetukset, ennen kaikkea suuremman ajonopeuden takia tulevat traktorikuljetuksia edullisemmiksi. 6.0 tonnin kantoinen kuorma-auto, jonka keskimääräinen ajonopeus on 45 km/h on noin 10...15 % taloudellisempi 30 km/h nopeutta käyttävää 8.0 t traktoriperävaunuyhdistelmää (vertailussa tunti hinnat kuorma-autolla 18 mk/h, traktorilla 16 mk/h). Kun keskimääräinen kuljetusmatka meillä on yleensä 5.5...6.0 km, on luonnollista, että kuljetusteiden kuntoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, jolloin suuremmat ajonopeudet tulevat mahdollisiksi.

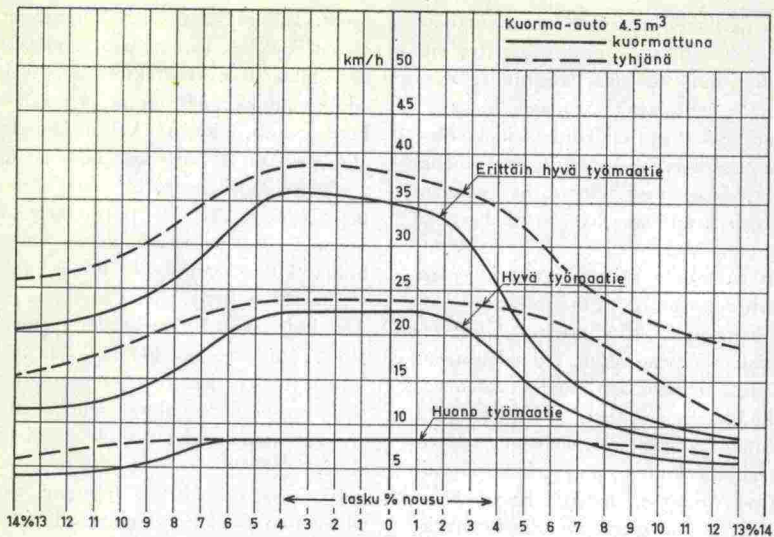
Norjassa on NBI:n toimesta tutkittu tien laadun ja noususuhteiden vaikutusta kuorma-autojen ajonopeuteen maansiirtotyössä. Tieolosuhteet on jaettu kolmeen luokkaan:

- 1) erittäin hyvät työmaatiet, jotka vastaavat keskinkertaista yleistä tietä,
- 2) hyvät työmaatiet,
- 3) huonot työmaatiet.

Tutkimustulokset on esitetty kuvassa 50.

Tutkimuksen mukaan keskimääräiset ajonopeudet olivat, jos nousuja ei esiintynyt, erittäin hyvillä teillä 35...38 km/h, hyvillä työmaateillä 22...24 km/h sekä huonoissa olosuhteissa 8 km/h. Nopeusero kuormatun ja kuormaamattoman ajoneuvon välillä on erittäin hyvällä ja hyvällä tiellä 6...10 %. Huonolla tiellä ei eroa nopeuksissa sanottavasti esiinny.

Työmaateillä esiintyvien noususuhteiden vaikutus ajonopeuteen riippuu auton kuormauksesta sekä lisäksi tien



Kuva 50:

Kuorma-auton keskimääräinen ajonepeus maansiirtotyössä nousun ja tien kunnon funktiona NBI:n tutkimusten mukaan.

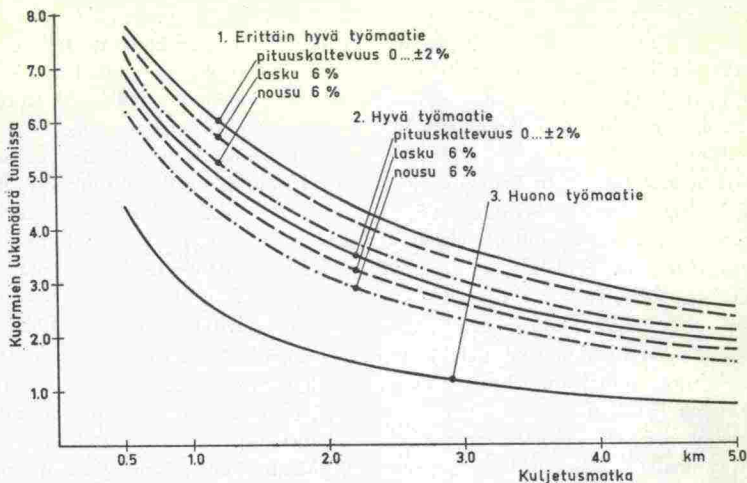
laadusta. Erittäin hyvällä sekä hyvällä työmaatiellä kuormattuun ajoneuvoon alle 2 % nousu ei vaikuta sanottavasti. Sen sijaan nousun kasvaessa ajonepeus pienenee hyvin voimakkaasti. Yli 10 % nousussa ei tieluokalla ole enää sanottavaa merkitystä ajonepeuteen nähden ja erittäin hyvillä teillä on nopeus tällöin pienentynyt 60...70 %.

Nousun vaikutus kuormaamattomaan ajoneuvoon on luonnollisesti pienempi. Erittäin hyvällä tiellä vaikutus on karkeasti otettuna suoraviivainen, jolloin nopeuden menetyks nousun lisääntyessä 0 %:sta 10 %:iin on alle 50 %. Hyvällä työmaatiellä ei kuormaamattomaan ajoneuvoon alle

7 % nousulla ole sanottavaa merkitystä.

Laskun vaikutus ajoneuvojen nopeuteen nähden on tieluokasta riippumatta samansuuntainen. Aina 5...6 % laskuun saakka nopeus pysyy likimain vakiona, minkä jälkeen nopeuden pieneminen 10 % laskuun saakka on n. 40 %.

Kuvassa 51 on edellä esitettyjen arvojen perusteella laskettu kuorma-autojen kuljetuskapasiteetti eri tieluokissa. Kiinteiden aikojen, kuormauksen, purkamisen ja odotuksen kokonaismääräksi on oletettu kaikissa tapauksissa 6 min. Kussakin luokassa on lisäksi esitetty tien noususuhteiden vaikutus rajoissa 0...6 %.



Kuva 51:

Kuorma-auton kuljetuskapasiteetti (kuormattuna) kuljetusmatkan, tieluokan ja tien noususubteiden funktiona. Tieluokat:

1. erittäin hyvä, vastus 30...50 kg/t
2. hyvä, „ 50...75 „
3. huono, „ yli 75 „

Tieluokan vaikutus kuljetuskapasiteettiin esitetyissä rajoissa on likimäärin 100/80/40. Jos kuljetuskustannuksia arvostellaan pelkästään kuljetusresurssien aikakustannuksena, on taloudellisesti yhtä edullista kuljettaa siirrettävät massat 2. luokan tiehen nähden 1,25 kertaa ja 3. luokan tietä 2,5 kertaa pitempää 1. luokkaa vastaavaa tietä käyttäen. Vertailu osoittaa, että kuljetusteiden ennakkosuunnittelu, niiden rakentaminen hyväkuntoisiksi sekä työnaikainen kunnossapito ovat kuljetustaloudelliselta kannalta ensiarvoisen tärkeitä. Useimmiten työmaaolosuhteissa 2. ja 3. luokan ero kuljetusteissa merkitsee pelkästään työmaateitten kunnossapito-

toiminnan hoitamista ja hoitamatta jättämistä.

Nousujen vaikutusta kuljetuskapasiteettiin voidaan arvioida vertaamalla saavutettavan tehon ja sitä vastaavan kuljetusmatkan välisiä riippuvuuksia eri noususuhteiden vallitessa. Esimerkiksi 2. luokan tasaisella tiellä saavutetaan 1 km matkalla teho 5,5 kuormaa tunnissa, kun se vastaavalla matkalla 6% nousussa on ainoastaan 4,75 kuormaa. Tehon väheneminen on noin 15%. Tulos osoittaa, että pitkiä nousuja kuljetusteillä kannattaa välttää.

Edellä esitetyt vertailut pätevät ainoastaan kuljetusten todellisia kustannuksia vertailtaessa. Nykyisen käy-

tännön mukaan korvaus maansiirrosta maksetaan kuutiometri \times kilometri-säännön mukaan, jolloin rakentaja yleensä tekee kustannusvertailunsa ajomatkan suhteen. Tällöin kannattavuuslaskelmat useimmiten tulevat tehdyiksi kokonaisuuden kannalta yksipuolisesti. Kyseistä maksutapaa käytettäessä tulisi taksoihin tieolosuhteita kuvaava korjaus.

Kuljetusteiden kesken vertailua tehtäessä on lähinnä kiinnitettävä huomiota kahden huonoimman tieluokan keskinäisiin suhteisiin. Luokittelun mukaiseen hyvää tietä vastaavaan laatutasoon päästään yleensä sopivalla reittivalinnalla, rakentamalla tie paremmaksi sekä työnaikaisella kunnosapitotoiminnalla. Pelkästään aikakustannuksia vertailtaessa saisi 2. luokan mukaisia teitä käyttävä kuljetusreitti olla pituudeltaan kaksinkertainen 3. luokan mukaisiin teihin verrattuna kokonaiskustannusten pysyessä silti yhtä suurina.

Kuljetusten suunnittelua varten on maaperätutkimuksia tehtäessä pyrittävä selvittämään olosuhteet silmällä pitäen vähintään 2. luokan mukaisten kuljetusteiden aikaansaamista kohtuul-

lisiin kustannuksiin. Varsinaiselta rakennuslinjalta poikkeavat tiet tulisi johtaa sellaisten maastonkohtien kautta, missä luonnonmukainen maapohja kestää pienin parannustöin. 1. ja 2. luokan teillä yli 6...7%:n nousuja tulisi välttää mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi kiertoteitä käyttämällä edellä esitetyissä puitteissa.

Kuljetusten osalta hankekohtaisina tutkimuksina tulisi edellä esitetyn mukaan selvittää seuraavat kohdat:

- Maan kaivu vaikeus vähintään luokkiin 1...2 ja 3...5 jaettuina ratkaistaessa irrotus- ja kuljetustapaa.
- Maan lohkaraisuus kaavinvaunujen käyttömahdollisuuksia arvioitaessa.
- Maapohjan kantavuus sekä työpohjien että kuljetusteiden osalta.
- Hienojakoisten maalajien häiriintymisherkkyys työpohjien ja kuljetusteiden osalta.
- Alueella olevat, kuljetuksiin soveltuvat tiet luokiteltuina, sekä ehdotukset mahdollisten työmaateiden paikoista. Samassa yhteydessä selvitettävä reittiehdotuksiin liittyvät yli 6% nousut.

4.3 Tiivistäminen

Materiaalin tiivistämismahdollisuudet riippuvat maan rakeisuudesta ja vesipitoisuudesta. Kohdassa 3.31 (taulukko 17) on esitetty eri maalajien optimivesipitoisuudet kuivatilavuuspainon funktiona. Tutkimusten mukaan hienojakoisia maalajeja sisältä-

vä materiaali on hyvin suuressa määrin tiivistettävyydeltään riippuvainen vesipitoisuudesta. Moreenin optimivesipitoisuus vaihtelee 6...8%, saven 17...20%; kyseisten rajojen ulkopuolella kuivatilavuuspaino pienenee voimakkaasti. Sen sijaan soran ja

hiekan kohdalla optimikosteuspitoisuudet ovat edellisellä 10 % ja jälkimmäisellä 13 %, mutta vaihtelut alueella 2 % ... 12 % eivät suuremmissa määrin aiheuta muutoksia kuivavuuspainon suhteen.

Tiivistystulosta voidaan parantaa joko lisäämällä vesipitoisuutta tai vaihtoehtoisesti tiivistystyötä. Jos oletamme soramaan vesipitoisuuden olevan 5 % ja pyrimme nostamaan sen optimiin, vaatii tämä 7 m levyisellä tiellä 40 cm kerrokseen lisättäväksi vettä kilometrin matkalle teoreettisen määrän 150 m³. Todellinen vesimäärä

olisi ilmeisesti 1.5 ... 2-kertainen. Esimerkki osoittaa, että veden lisääminen useimmissa tapauksissa on epätaloudellista, jopa mahdotonta.

Tiivistystyön lisääminen voidaan tehdä joko käyttämällä raskaampaa tiivistyskalustoa tai lisäämällä jyräämiskertoja. Tarvittavan työn määrä riippuu maalaadun lisäksi sen kosteuspitoisuudesta sekä tiivistettävien kerrosten paksuudesta. Yhteyttä mainittujen tekijöiden välillä ei ole riittävässä määrin selvitetty, minkä vuoksi käytäntöön sovellettavia arvoja ei ole saatavissa.

4.4 Maaperätutkimustuloksien esittäminen suunnitelmissa

Taulukossa 22 on esitetty maa- ja kalliroleikkausten osalta ehdotus tutkimustulosten esittämistavaksi. Kysei-

set taulukot voidaan esittää esimerkiksi rakennussuunnitelman pituusleikkauksen yhteydessä.

Taulukko 22. Maaperätutkimustietojen esittäminen.

Maaleikkaukset

Sijainti		m ³	Kaivettavuus	Lohkaraisuus	Käyttökelpoisuus	Vesipitoisuus
Pl no.	Korkeus					
31 400—33 600 ..	0 ... 2	25 000	K 2	0.5/5 %	Kaato- paikka Penger	10 %
	2 ... 4	40 000	K 4	0.5 ... 1.0/20 %		12 %

Kalliroleikkaukset

Sijainti		m ³	Tunkeutumisluku	Rikkonaisuus Rapautuneisuus	Päärakosuunnat kallion lohkaraisuus
Pl no.	Korkeus				
25 600—26 100 ..	0 ... 3	10 000	40	B II	

TEKIJÄT

Osan V kirjoitustyön ovat tehneet:

1. MAALAJILUOKITUKSET ROUTIVUUDEN, KANTAVUUDEN JA KAI- VETTAVUUDEN PERUSTEELLA

Orama, R. (1.1...1.2)

Arhippainen, E. (1.3)

2. RAKENNUSMATERIAALIEN LAATUVAATIMUKSET

Orama, R. (2.11)

Korhonen, K-H. (2.12...2.13)

Markkula, V. (2.21...2.22 ja 2.231)

Hyyppä, J. (2.232 ja 2.24...2.25)

Weckström, L. (2.31)

Jännes, E. (2.32)

Insinööri-toimisto Maa ja vesi Oy (Slunga, E.) (2.33)

3. MASSOJEN KÄYTÖN SUUNNITTELU

Oy Mec-Rastor Ab (Timonen, R. ja Brax, J.)

4. TYÖMENETELMÄKYSYMYKSET

Oy Mec-Rastor Ab (Timonen, R.)

Ohjekokoelman sisällön suunnitteluun ja jäsenöintiin sekä kirjoittajien valintaan on eri työryhmien jäseninä osallistunut huomattava määrä tvl:n omaa henkilökuntaa sekä ulkopuolisia asiantuntijoita. Kirjoitusten tarkastaminen ja yhdenmukaistaminen sekä ohjekokoelman lopulliseen painoasuun saattaminen on tehty tvh:n maatutkimustoimiston toimesta.