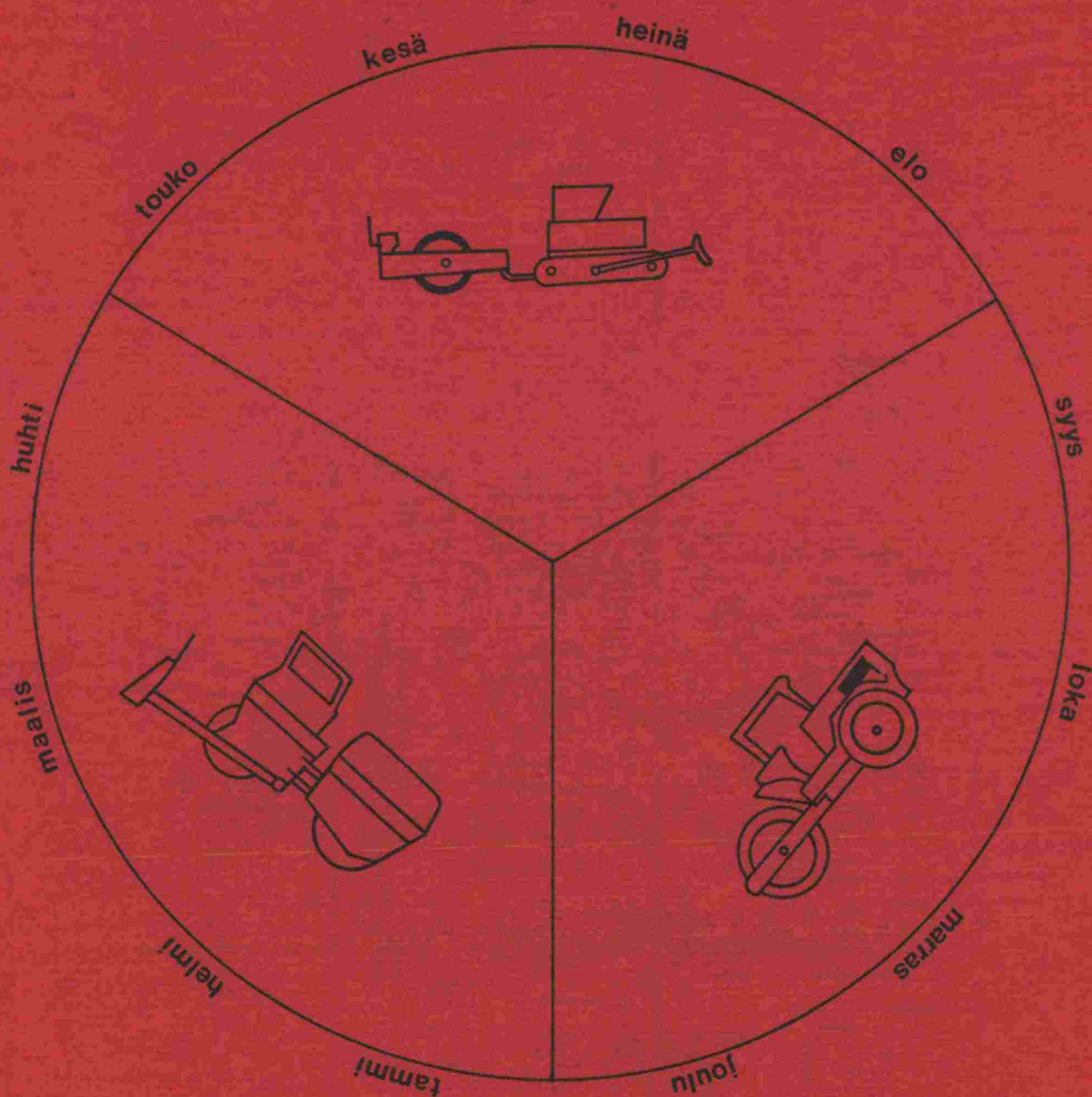


# MAAKERROSTEN TIIVISTÄMINEN



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
JÄRJESTELYTOIMISTO 1974

TVH 2.871 A4

20022

VII A

OB  
TIE  
MAA



ASKO SAARELA

# MAAKERROSTEN TIIVISTÄMINEN

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS

Järjestelytoimisto

Hki 1974

TVH 2.871 A4

MAAKERROSTEN TIIVISTÄMINEN

## ALKUSANAT

Maakerroksia käsittelevien tiivistystutkimusten päätyttyä pääosiltaan tie- ja vesirakennuslaitoksessa katsottiin aiheelliseksi koota lyhennelmä seuraavista laatimistani tiivistystyötä käsittelevistä julkaisuista ja tutkimuksista

- Tien päällysrakenteen sitomattomien kerrosten tiivistäminen, TVH 2.836 A4 1970
- Tiivistystekniikkaa tien rakentamisessa, TVH 2.840 A4 1971
- Rakentamistavan vaikutus tien alus- ja päällysrakenteen laatuun ja kustannuksiin, Oulu 1973
- Talvitiivistyksen vaikutuksesta tien alusrakenteen ja sitomattomien päällysrakenekerrosten tiiviyksiin, Oulu 1974
- Talvitiivistystutkimukset Kymen tie- ja vesirakennuspiirissä v. 1974

sekä lisäksi julkaisusta: Metoder för begränsning av sättningar hos jordbankar byggda under vintern, Svenska byggnadsentreprenörföreningen. Rapport Nr 10. Stockholm 1973.

Käsillä oleva tutkielma on tarkoitettu tiivistystöiden kanssa tekemisissä oleville insinööreille ja rakennusmestareille sekä laadunvalvontahenkilöille. Lisäksi tutkielmaa voidaan käyttää hyväksi työsuunnittelussa.

Helsingissä elokuussa 1974

Asko Saarela

## S I S Ä L L Y S

1. JOHDANTO	3
1.1 Yleistä	3
1.2 Käytössä oleva tiivistyskalusto	3
2. TIIIVISTYSTYÖN SUORITUS KESÄLLÄ	6
2.1 Yleistä	6
2.2 Tiivistystyömäärään vaikuttavat päätekijät	6
2.21 Vesipitoisuus	6
2.211 Penkereen vesipitoisuus	6
2.212 Eristyskerroksen vesipitoisuus	8
2.213 Jakavan kerroksen vesipitoisuus	9
2.214 Kantavan kerroksen vesipitoisuus	10
2.22 Jyräysnopeus	11
2.23 Kerrospaksuus	12
2.24 Kivisyys	13
2.3 Rakenteen kantavuuteen vaikuttavia tekijöitä	14
2.31 Jyräyskertamäärän vaikutus kantavuusarvoon	14
2.32 Rakenteen vesipitoisuuden ja kokeen suoritusajankohdan vaikutus kantavuuteen	16
2.4 Tiivistyskapasiteetit ja -kustannukset	18
3. TIIIVISTYSTYÖN SUORITUS TALVELLA	23
3.1 Yleistä	23
3.2 Tiivistymiseen vaikuttavat tekijät	23
3.21 Vesipitoisuus ja lämpötila	23
3.211 Teoreettinen katsaus	23
3.212 Penkereen tiivistyminen	25
3.213 Eristyskerroksen tiivistyminen	25
3.214 Jakavan kerroksen tiivistyminen	27

3.3	Laatuvaatimusten mukaisten tiiviyksien saavuttaminen talvi- olosuhteissa	29
3.4	Talvitiiviydessä myöhemmin tapahtuvat muutokset	30
3.5	Talvitiivistystyön suorittaminen	32
3.6	Tiivistyskapasiteetit ja -kustannukset	33

## 1. JOHDANTO

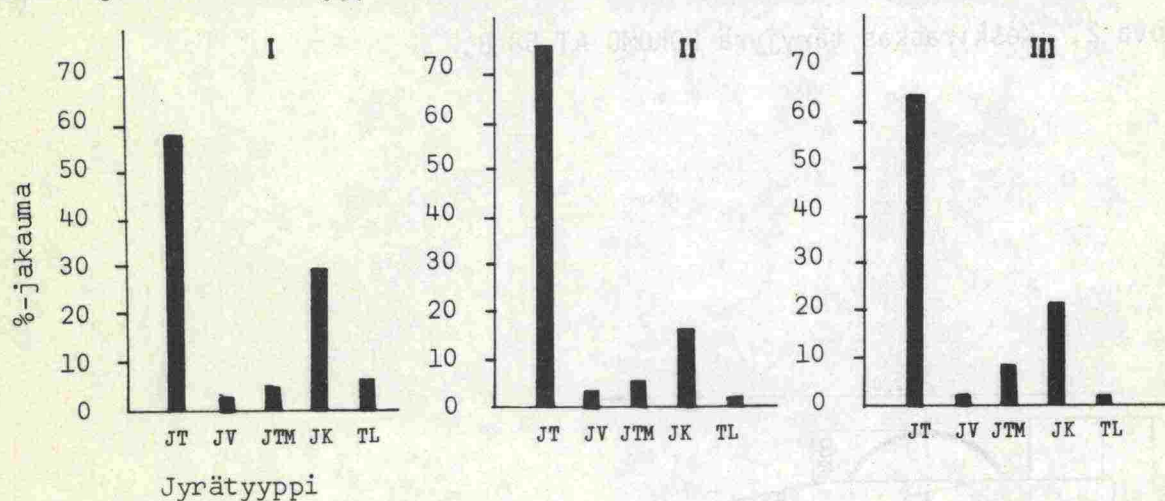
### 1.1 YLEISTÄ

Tiivistämistöiden päämääränä voidaan pitää tien rakenteiden saattamista sellaiseen olotilaan, että niissä myöhemmin tapahtuvat deformaatiot pysyvät ajomukavuuden ja tien kunnossapidon kannalta kohtuullisissa rajoissa. Teiden rakentamisessa tämä ilmenee siten, että tien eri rakenneosille on asetettu tiettyjä tiiviys- ja kantavuusvaatimuksia, joihin päästäessä otaksutaan tien kestävä liikenteen ja sääolosuhteiden aiheuttamat rasitukset.

Tiivistämisen problematiikkaa ei kokonaisuudessaan täysin kyetä hallitsemaan. Tämä johtuu suurelta osin siitä, ettei maa-aineksen käyttäytymistä tunneta riittävän laajasti. Tästä syystä tiivistystyön suoritukselle ei ole asetettavissa aivan eksakteja ohjearvoja, vaan siinä on käytettävä apuna työmaan erikoisolosuhteista riippuvia vaikuttimia.

### 1.2 KÄYTÖSSÄ OLEVA TIIVISTYSKALUSTO

Suomessa käytetään tien sitomattomien rakennekerrosten tiivistämisessä pääasiassa vedettäviä täryjyriä ja itsekulkevia kumipyöräjäyriä. Tiivistyskonekannan jakautuminen tyypeittäin eri rakennuskausina esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Jyräkannan jakautuminen jyräyskustannusten mukaan eri rakennuskausina.

Vedettävien täryjyriä osuus kaikista jyristä on rakennuskaudesta riippuen ollut 58...76 % kustannusten mukaan. Täryjyristä on yleisemmin käytetty ns. keskiraskasta, 5,8 Mg painavaa täryjyrää (esim. LOKOMO AT 58 B). Tämän osuus

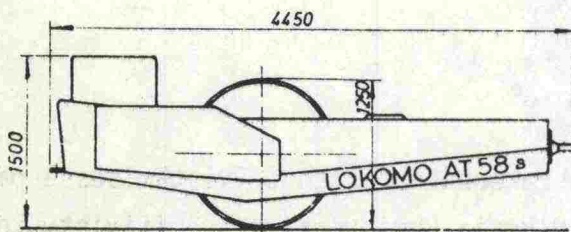


on kaikista vedettävistä täryjyristä ollut noin 60...70 %. Sen sijaan ras-  
kaan, yli 8 Mg painavan täryjyrän käyttö on muihin täryjyriin nähden ollut  
suhteellisen vähäistä (osuus vain 2...4 %).

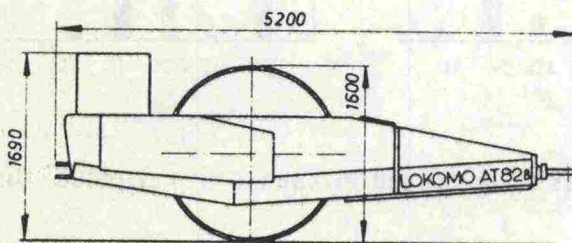
Kumipyöräjyriä osuus tiivistämiskalustosta on kustannustietojen mukaan ollut  
rakennuskaudesta riippuen noin 15...29 %. Kumipyöräjyriä ovat vallitsevina  
yli 20 Mg painavat jyrätyypit (osuus 80...90 % rakennuskaudesta riippuen).

Omalla moottorivoimalla kulkevien täryjyriä osuus kaikista jyrätyypeistä on  
ollut rakennuskaudesta riippuen noin 4...8 %.

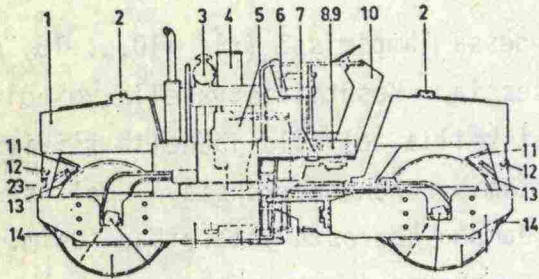
Uusista jyrätyypeistä mainittakoon kaatopaikkajyrät (esim. TANA S8) ja kumi-  
pyörävetoiset täryvalssijyrät (esim. DYNAPAC CA 25).



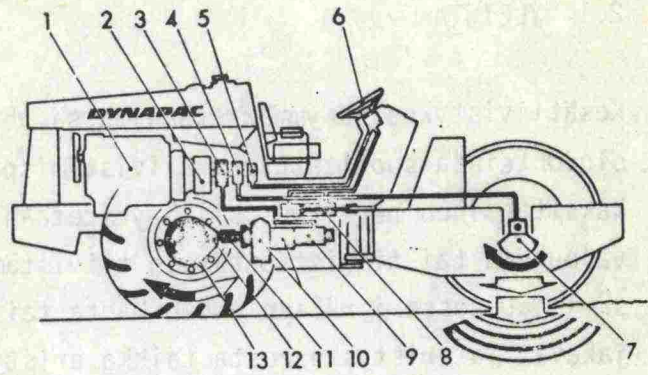
Kuva 2. Keskiraskas täryjyrä LOKOMO AT 58 B.



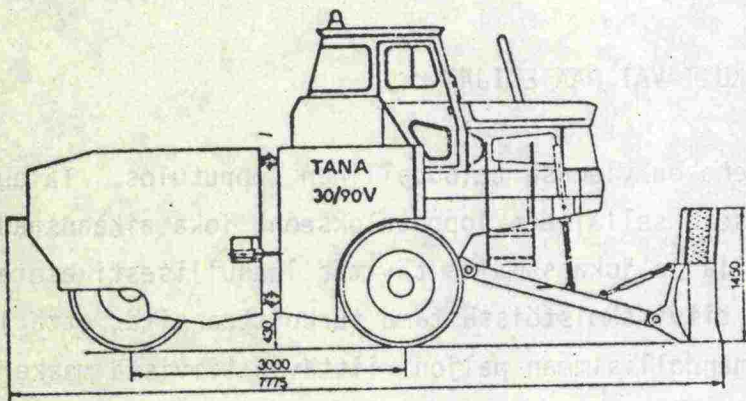
Kuva 3. Raskas täryjyrä LOKOMO AT 82 B.



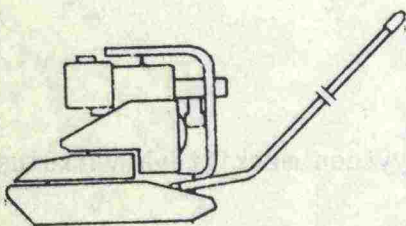
Kuva 4. Valssivetoinen kaksois-  
täryvalssijyrä DYNAPAC CC 41.



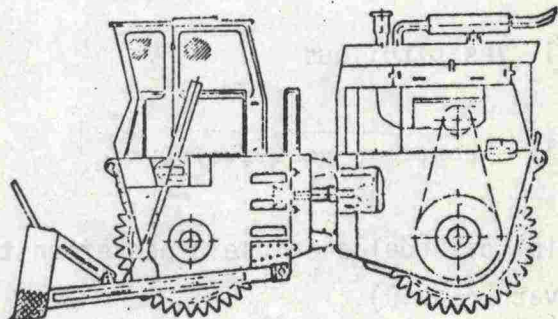
Kuva 5. Kumipyörävetoinen täryjyrä  
DYNAPAC CA 25.



Kuva 6. Kumipyöräjäyrä VALTRATana 30/90 VP.



Kuva 7. Tärylevy DYNAPAC CM 21.



Kuva 8. Itsekulkeva sorkkajyrä TANA S8.

## 2. TIIVISTYSTYÖN SUORITUS KESÄLLÄ

### 2.1 YLEISTÄ

Kesätiivistyksellä ymmärretään tässä yhteydessä lämpimissä (yli +10...+15 °C) olosuhteissa suoritettavaa tiivistämisprosessia. Kesätiivistyksellä voi olla kaksitahoinen merkitys: sillä yritetään paikkailla talvella jääneitä tiiviysvajauksia tai tiivistää täysin tiivistämättömiä rakennekerroksia. Edellisessä tapauksessa jyrätään usein kahta tai useampaa kerrosta yhtä aikaa (esim. jakavaa ja eristyskerrosta taikka eristys-, jakavaa ja kantavaa kerrosta). Jälkimmäisessä tapauksessa voi tiivistyskohteena olla vaikkapa vain yksi rakennekerros. Monikerrossysteemin tiivistäminen vaatii tiivistyskoneelta suurta tiivistysvaikutusta. Tällöin raskaiden täryjyrien käyttö vaikuttaisi loogiselta. Yksittäisiä rakennekerroksia tiivistettäessä näyttelee jyrän pintakapasiteetti tärkeää osaa.

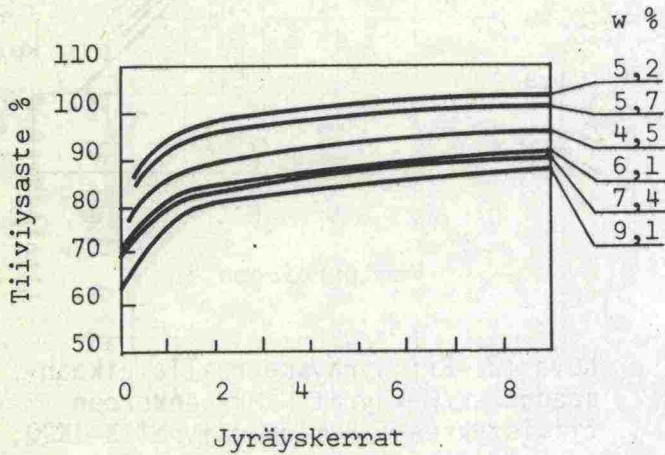
### 2.2 TIIVISTYSTYÖMÄÄRÄÄN VAIKUTTAVAT PÄÄTEKIJÄT

Rakentamistoiminnan tavoitteena on yleensä taloudellinen lopputulos. Taloudellisuus kytkeytyy varsin usein sellaiseen lopputulokseen, joka aikaansaadaan nopeasti ja tehokkaalla tavalla ja joka samalla täyttää laadullisesti asetetut tavoitteet. Tienrakennuksen tiivistämistöissä tämä tarkoittaa sitä, että jyrällä yritetään aikaansaada mahdollisimman paljon riittävän tiivistä maakerrosta, ts. jyrän kapasiteetti yritetään kohottaa mahdollisimman suureksi. Jyrän kapasiteetti riippuu kääntäen verrannollisesti tiivistystyömäärästä ja suoraan verrannollisesti jyräsnopeudesta. - Tiivistystyömäärään vaikuttavia asioita tarkastellaan seuraavassa siten, että aluksi jyräsnopeutta pidetään vakiona ja tämän jälkeen tarkasteltaessa jyräsnopeuden vaikutusta ajatellaan materiaaliominaisuuksien olevan lähes vakioina.

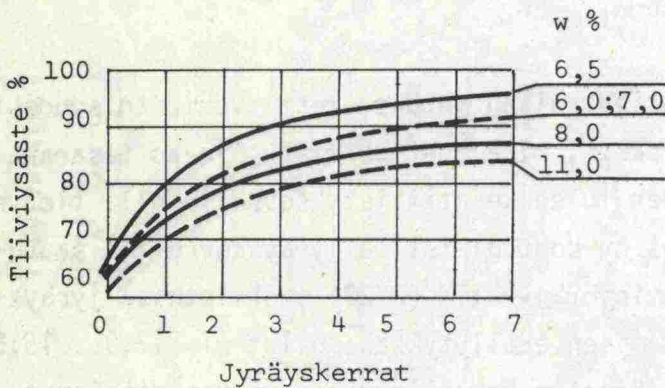
#### 2.21 Vesipitoisuus

##### 2.211 Penkereen vesipitoisuus

Vesipitoisuudella on usein penkereen tiivistyvyyteen merkittävä vaikutus (kuvat 9 ja 10).



Kuva 9. Jyräyskertojen ja vesipitoisuuden vaikutus HkMr-penkereen tiivistymiseen. Täryjyrä JT08.

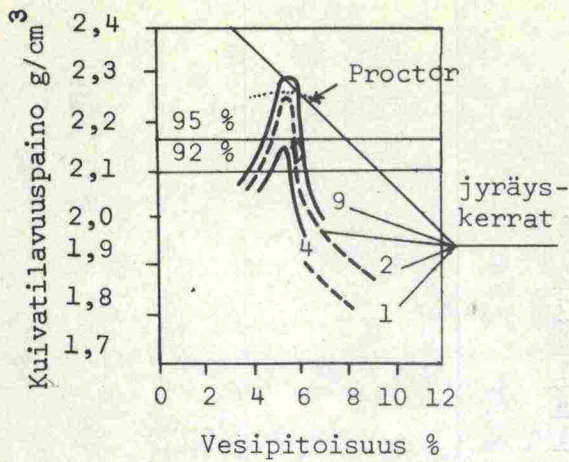


Kuva 10. Jyräyskertojen ja vesipitoisuuden vaikutus HkMr-penkereen tiivistymiseen. Kumipyöräjyrä JK20.

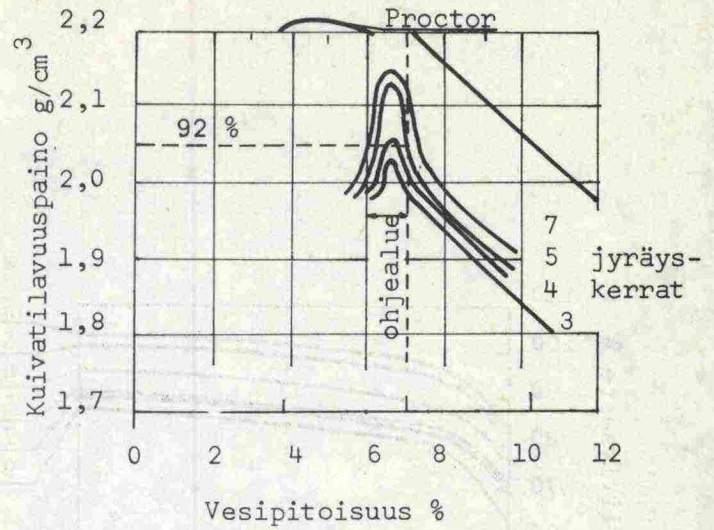
Maalajista riippuen saattaa olla, ettei jyrille sopiva optimivesipitoisuus olekaan Proctor-kokeen tuloksen mukainen (vrt. kuvat 11 ja 12) - täryjyrällä (JT08) on esimerkiksi HkMr-penkereen tiivistyksessä (kuva 11) ollut sopiva vesipitoisuus 0,5 %-yksikköä suurempi ja kumipyöräjyrällä (JK20) 1,7 %-yksikköä suurempi kuin Proctor-kokeen vastaava  $w_{opt}$ -arvo.

Mikäli laatuvaatimukseksi asetetaan 92 %, on suositeltava vesipitoisuusalue suhteistuneen HkMr-penkereen tiivistämisessä täryjyrällä (JT08)  $w_{opt} \dots w_{opt} + 1$  %-yksikköä ja kumipyöräjyrällä (JK20)  $w_{opt} + 1$  %-yks.  $\dots w_{opt} + 2$  %-yks. ( $w_{opt}$  Proctor-kokeesta saatu optimivesipitoisuus).

On huomattavaa, että hienoainespitoisia moreenipenkereitä tiivistettäessä nimenomaan liian suurella vesipitoisuudella heikennetään rakenteen tiivistävyyttä.



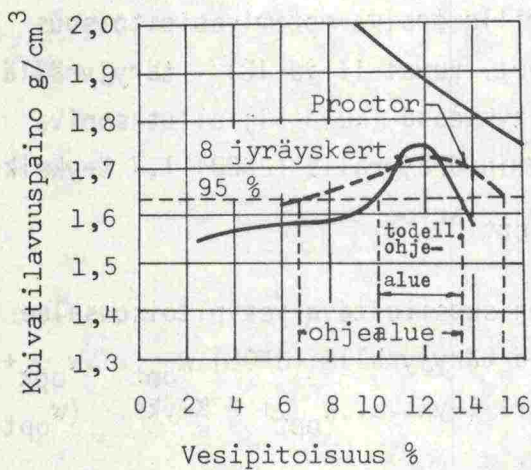
Kuva 11. Eri jyräyskerroilla aikaansaadut  $\gamma/w$ -käyrät HkMr-penkereen tiivistyksessä täräjäjyrällä JT08.



Kuva 12. Eri jyräyskerroilla aikaansaadut  $\gamma/w$ -käyrät HkMr-penkereen tiivistyksessä kumipyöräjyrällä JK20.

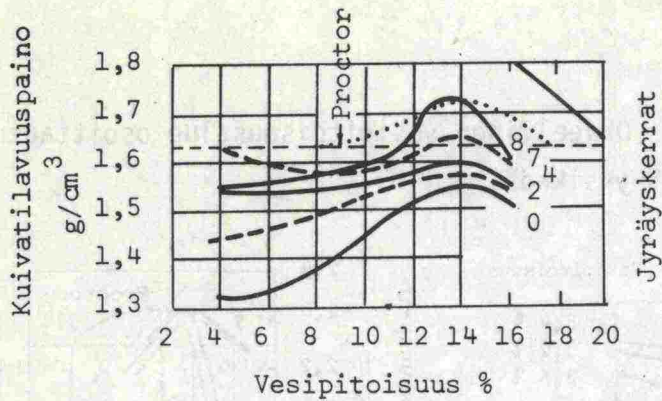
## 2.212 Eristyskerroksen vesipitoisuus

Eristyskerroksen tiivistyminen ei riipu aivan yhtä suuresti vesipitoisuudesta kuin esimerkiksi Mr- ja Sr-maakerroksen, mikä johtuu eristyshiekan tasarakaisuudesta. Kuitenkin vesipitoisuuden tulee kesätiivistyksessäkin olla tietyn suuruinen, jotta vaadittava tiiviys on kohtuullisilla jyräyskerroilla saavutettavissa. Kuvan 13 mukaan on kumipyöräjyrällä (JK20) suoritettussa jyräyksessä 95 %:n tiiviysasteen saavuttamisen edellytyksenä ollut  $w = 12,0 \dots 15,5$  % 8 jyräyskertaa käytettäessä (huom. Proctor-kokeella vastaava vesipitoisuusalue oli  $w = 8,5 \dots 17,2$  %).



Kuva 13. Kumipyöräjyrän JK20  $\gamma/w$ -käyrä 8:n jyräyskerran jälkeen eristyskerroksen (HHk) tiivistämisessä.

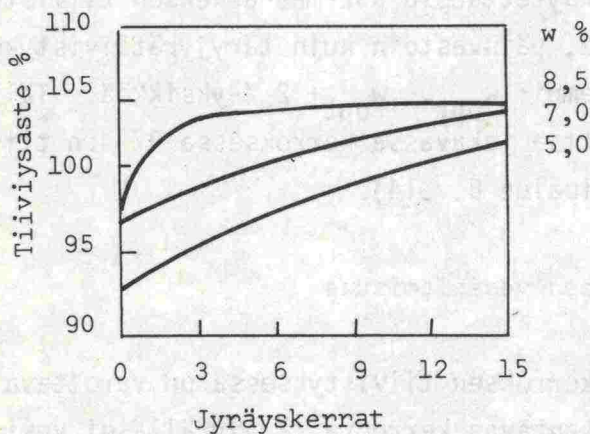
Kumipyöräjyrällä (JK20) suoritettujen jyräyskertojen vaikutusta eristyskerroksen (HHk)  $\gamma/w$ -käyrään esitetään kuvassa 14.



Kuva 14. Jyräskertojen vaikutus eristyskerroksen (HHk)  $\gamma/w$ -käyrään. Tiivistys kumipyöräjyrällä JK20, jonka rengaspaine oli  $3,0 \text{ kp/cm}^2$ .

Kuvan 14 mukaan kumipyöräjyrän  $w_{\text{opt}}$  on ollut Proctor-kokeesta saatavaa  $w_{\text{opt}}$ -arvoa pienempi.

Eristyskerroksen tiivistyminen nopeutuu, jos vesipitoisuus on jo jyräyksen alusta lähtien sopiva (kuva 15).

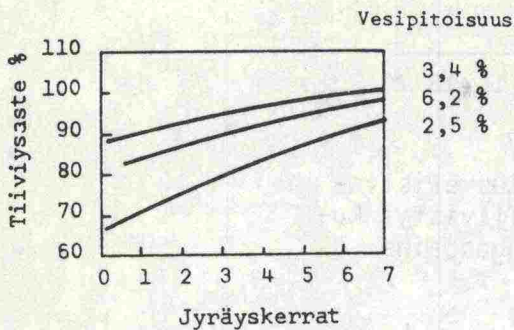


Kuva 15. Vesipitoisuuden vaikutus tiiviysasteen ja jyräskertojen väliseen riippuvuuteen eristyskerroksen (srHk) tiivistämisessä. Tiivistys kumipyöräjyrällä JK20, jonka rengaspaine oli  $3,0 \text{ kp/cm}^2$ .

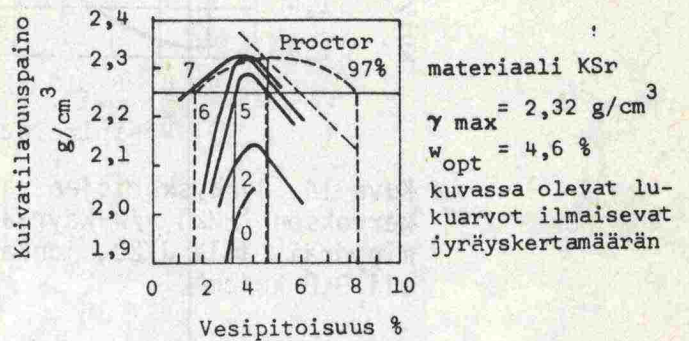
## 2.213 Jakavan kerroksen vesipitoisuus

Jakavan kerroksen tiivistyminen on puolestaan suuresti riippuvainen vesipitoisuudesta. Esimerkiksi kuvan 16 mukaan optimivesipitoisuudessa oleva jakava kerros (KSr) on saatu täryjyrällä (JT05) 4:11ä jyräskerralla 97 %:n tiiviyyteen, kun taas jo 1 %-yksikönkin alitus  $w_{\text{opt}}$ -arvoon nähden on hidastanut jakavan kerroksen tiivistymistä ratkaisevasti (esim. 7:11ä jyräskerralla on päästy vasta 90 %:n tiiviyyteen). Kuvassa 17 on havainnollistettu täryjyrällä (JT05) suoritettujen jyräskertojen ja vesipitoisuuden vaikutusta jakavan kerroksen

(KSr) tiivistymiseen. Ohjeellinen vesipitoisuusalue osoittautuu melko suppeaksi:  $w_{opt} \dots w_{opt} - 2$  %-yksikköä.



Kuva 16. Vesipitoisuuden vaikutus jakavan kerroksen tiivysasteen ja jyräyskertojen väliseen suhteeseen.

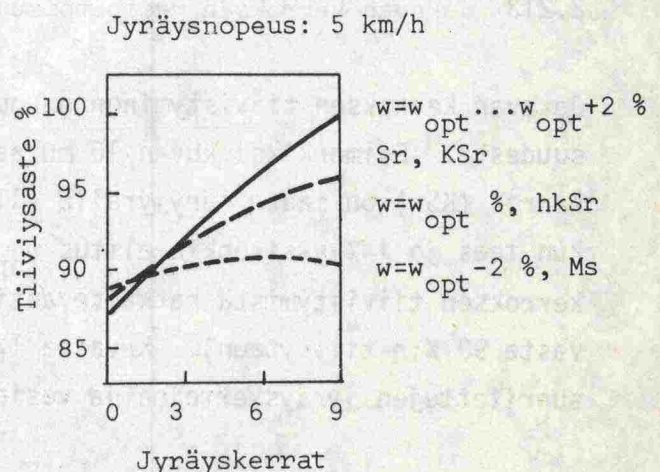


Kuva 17. Jyräyskertojen vaikutus jakavan kerroksen  $\gamma/w$ -käyrään.

Kumipyöräjyriä (JK20) käytettäessä KSr-maa-aineksen tiivistämisessä on ohjeellinen vesipitoisuusalue, päinvastoin kuin täryjyriätiivistyksessä, Proctor-kokeen  $w_{opt}$ -arvoa suurempi:  $w_{opt} \dots w_{opt} + 2$  %-yksikköä. Tällöin 6:lla jyräyskerralla voidaan saavuttaa jakavassa kerroksessa 97 %:n tiiviyys (jyräyskertojen mahdollinen vaihtelualue 6...14).

#### 2.214 Kantavan kerroksen vesipitoisuus

Sitomattoman kantavan kerroksen tiivistyksessä on varottava liiallista kastelua. Tiivistettäessä kantavaa kerrosta täryjyriällä ei vesipitoisuudella ole kovin suurta merkitystä. Kumipyöräjyriätiivistyksessä on kantavan kerroksen tiivistymisen kannalta suotuisaa kastella kerros lievästi yli optimimäärän (kuva 18).

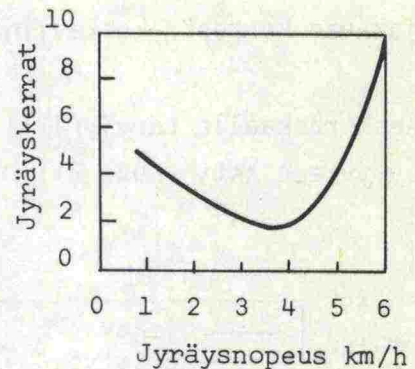


Kuva 18. Materiaalilaadun, sen vesipitoisuuden ja jyräyskertojen vaikutus kantavan kerroksen tiivistymiseen, kun kumipyöräjyriän jyräysnopeutena oli 5 km/h.

## 2.22 Jyräysnopeus

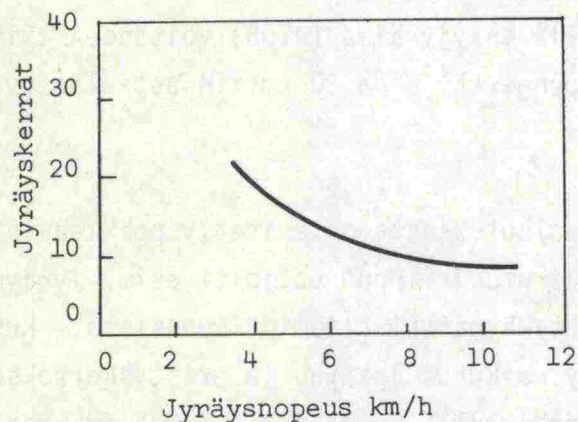
Tiivistuskoneen jyräysnopeudella on vaikutus maa-aineksen tiivistymiseen. Tiivistuskoneilla on olemassa optimaalinen jyräysnopeus, jolla saavutetaan suurin kapasiteetti ja siten myös alhaisimmat jyräyskustannukset.

Keskiraskaalla täryjyrällä JT05 on sopiva jyräysnopeus 3...4 km/h jakavan kerroksen tiivistyksessä (kuva 19, laatutaso 97 %).



Kuva 19. Jyräysnopeuden vaikutus tarvittavaan jyräyskertamäärään (täryjyrä JT05, D = 97 %, materiaali KSr...hkSr).

Kumipyöräjyrällä JK20 97 %:n tiiviiden saavuttamiseksi tarvittava jyräyskertamäärä pienenee jyräysnopeuden kasvaessa (kuva 20). Tähän vaikuttaa mm. se, että kumipyöräjyrällä tiivistysvaikutus lisääntyy nopeuden kasvusta aiheutuvan dynaamisen rasituksen seurauksena (vrt. ajoneuvoliikenteen vaikutus). Kuvan 20 mukaan tulisi kumipyöräjyrällä käyttää yli 9 km/h jyräysnopeutta.



Kuva 20. Jyräysnopeuden vaikutus tarvittavaan jyräyskertamäärään (kumipyöräjyrä JK20, D = 97 %, materiaali HSr...hkSr).

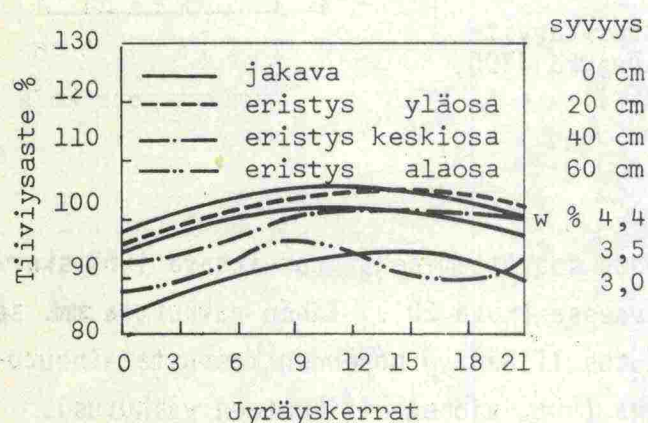


## 2.23 Kerrospaksuus

Pengerkerroksia sekä useita rakennekerroksia yhtäaikaisesti tiivistettäessä on oleellista tuntee jyrrien syvyysvaikutus.

Monikerrossysteemiä tiivistettäessä on jyrrien syvyysvaikutus toisenlaista kuin homogeenista kerrosta tiivistettäessä. Monikerrosrakenteessa kerrosten raja-kohta eliminoi tiivistysenergiaa. Esitettäessä eri jyrille maksimaalisia kerrospaksuuksia, on otettava huomioon, että ne perustuvat yleensä eristys- ja jakavaa kerrosta koskeviin tutkimuksiin.

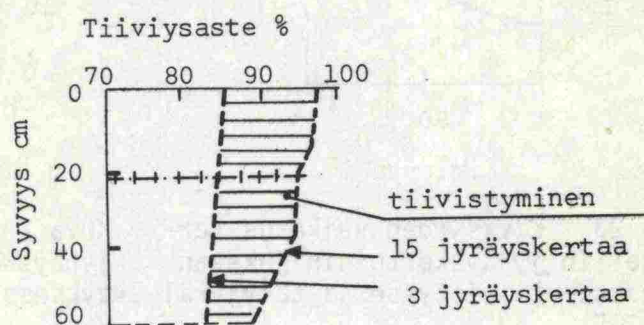
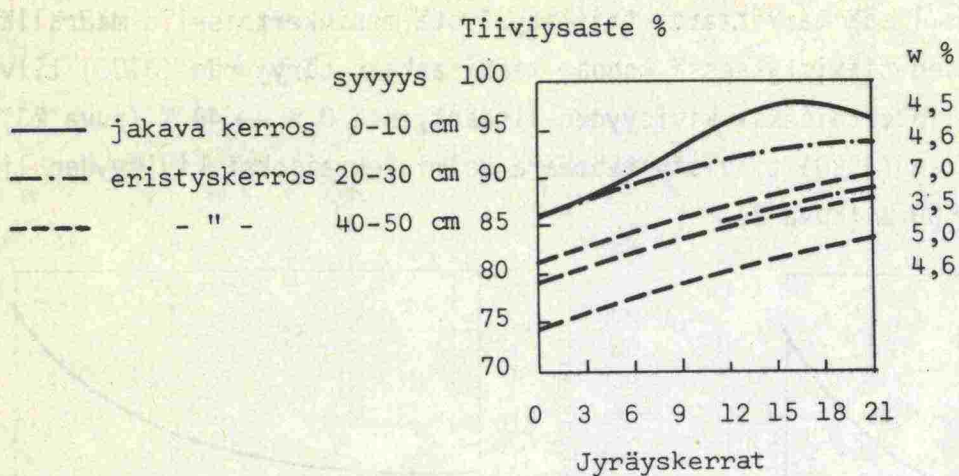
Keskiraskaalla täryjyrällä JT05 ulottuu tiivistysvaikutus noin 60...70 cm:n syvyyteen asti (kuva 21).



Kuva 21. Keskiraskaan täryjyrän JT05 syvyysvaikutuksen kehitys eri jyräyskerroilla.

Näin ollen keskiraskaalla täryjyrällä (JT05) voitaneen tiivistää homogeenista kerrosta (esim. pengertä) aina 80 cm:iin asti laatuvaatimusten mukaiseen tiivyyteen.

Kumipyöräjyrien syvyysvaikutuksesta on esitetty poikkeavia käsityksiä. Kumipyöräjyrän syvyysvaikutus riippuu paljolti esim. jyräysnopeudesta (suoraan verrannollisesti) sekä materiaaliominaisuuksista. Kuvassa 22 esitetään kumipyöräjyrän tiivistysvaikutus jakavan ja eristyskerroksen tiivistämisessä. Kuvan 22 mukaan kumipyöräjyrällä voidaan tiivistää jakavaa ja eristyskerrosta samalla kertaa aina 50 cm:n syvyyteen asti, mikäli jakava kerros ei ole yli 25 cm:rd paksu. Homogeenisen kerroksen tiivistämisessä kumipyöräjyrällä (JK20) päästäneen noin 60 cm:n syvyysvaikutukseen.



Kuva 22. Jakavan (hkSr) ja eristyskerroksen (Hk) tiivistyminen eri vesipitoisuuksilla jyräyskertojen vaihdella. Kumipyöräjyryä JK20.

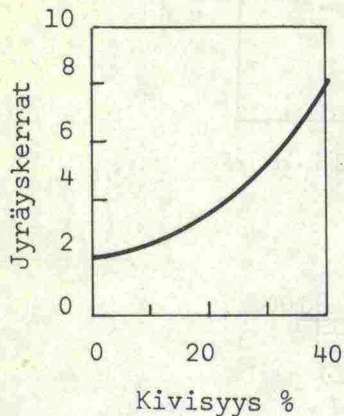
Raskaalla ja keskiraskaalla täryjyryllä on mahdollista tiivistää 30 cmrtd paksu jakava kerros ja 30...35 cmrtd paksu eristyskerros samanaikaisesti vaadittaviin tiiviyksiin, jos tiivistystyö suoritetaan oikein. - Tiivistettäessä kumipyöräjyryllä (JK20) jakavaa ja eristyskerrosta tulisi jakavan kerroksen paksuus olla alle 20...25 cmrtd, jos eristyskerros on yli 25...30 cmrtd paksu. Näin ollen useimmissa tapauksissa jakava kerros tulisi rakentaa kahdessa osassa.

## 2.24 Kivisyys

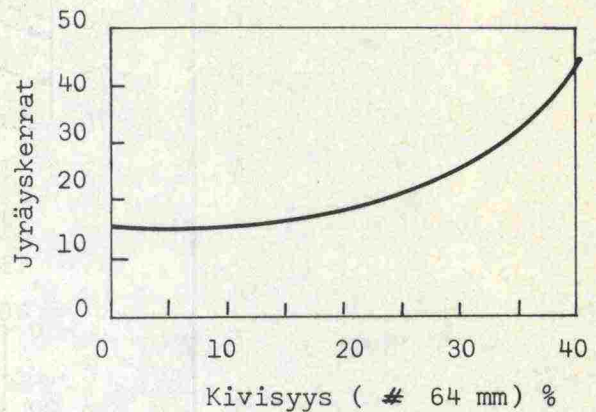
Kivisyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä kiviaineksen yli 32 mm läpimitaltaan olevien rakeitten prosentuaalista määrää.

Materiaalin tiivistyvyys alkaa heiketä kivisyyden ylittäessä tietyn rajan. Kivisyyden merkitys saattaa ilmetä sekä jakavan kerroksen että penkereen tiivistämisessä, jolloin materiaalin tiivistäminen vaikeutuu kivisyyden kohotessa yli 20 %.

Runsas kivisyys lisää tarvittavaa tiivistystyötä moninkertaisella määrällä. Jakavan kerroksen tiivistyksessä kohoaa keskiraskaan täryjyrän (JT05) tiivistystyömäärä nelinkertaiseksi kivisyyden lisääntyessä 0 % → 40 % (kuva 23) ja kumipyöräjyrän (JK20) tiivistystyömäärä kolminkertaiseksi kivisyyden lisääntyessä 20 % → 40 % (kuva 24).



Kuva 23. Kivisyyden vaikutus tarvittaviin jyräyskertoihin jakavan kerroksen tiivistyksessä täryjyrällä JT05.



Kuva 24. Kivisyyden vaikutus tarvittaviin jyräyskertoihin jakavan kerroksen tiivistyksessä kumipyöräjyrällä JK20.

Runsaskivisissä maa-aineksissa tapahtuu usein erottumista jyräämisen seurauksena.

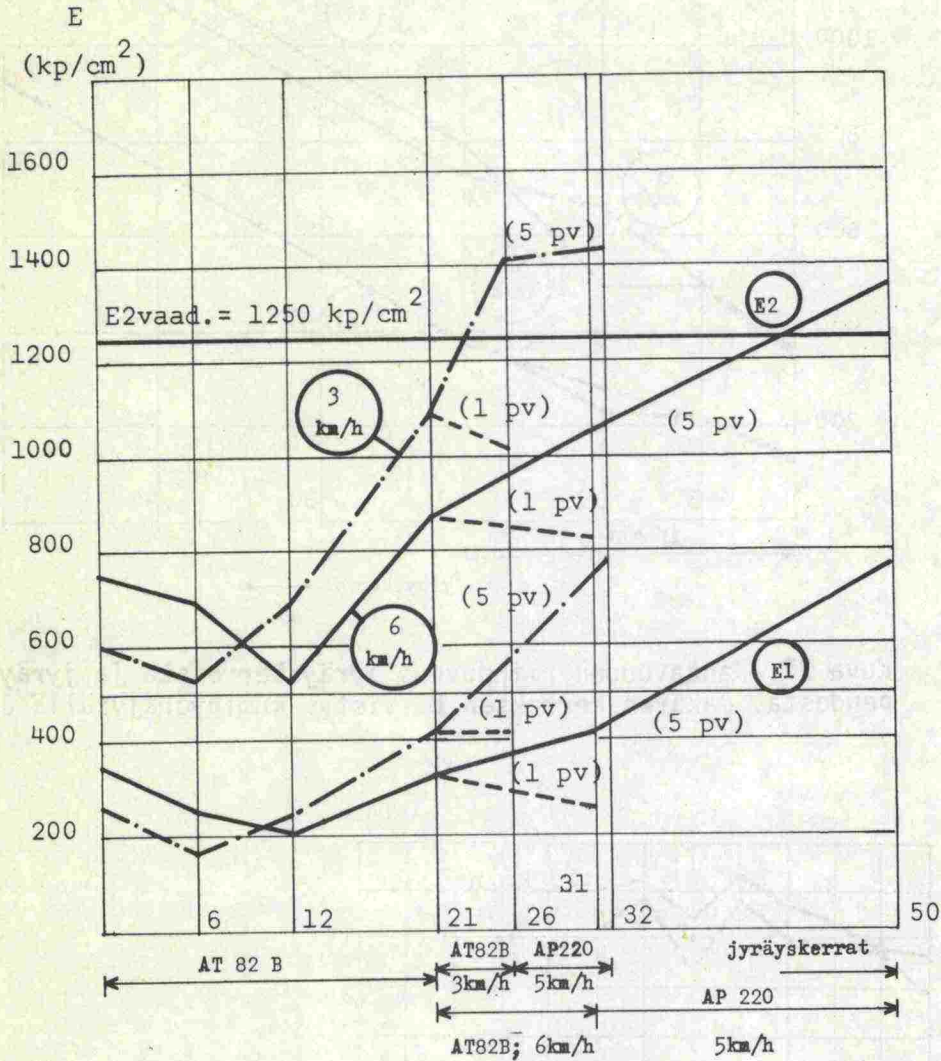
### 2.3 RAKENTEEN KANTAVUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Rakenteen kantavuutta mitataan levykuormituskokeella. Levykuormituskokeen tuloksista jälkimmäiselle, E2-arvolle on asetettu minimiarvovaatimukset, jotka koskevat jakavaa kerrosta ja kantavan kerroksen sitomatonta osaa. E2-luku riippuu 1) rakenteen tiiviydestä ja näin ollen jyräyskertojen lukumäärästä, 2) kokeen suoritusajankohdasta tiivistykseen ja kasteluun nähden sekä 3) rakenteen vesipitoisuudesta jyräyksen aikana ja kantavuuden mittausajankohtana.

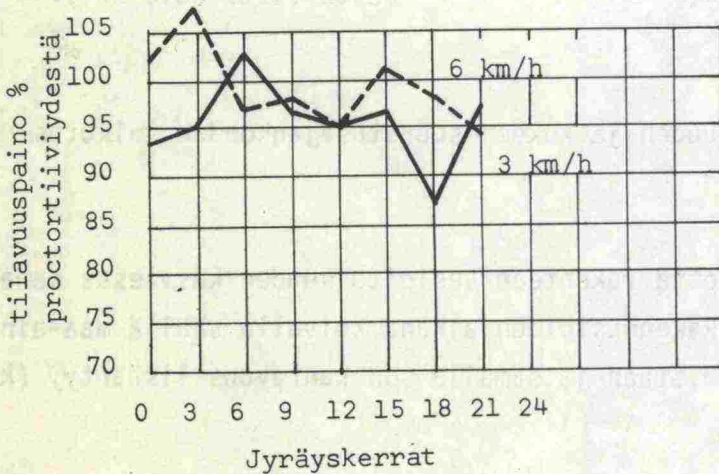
#### 2.31 Jyräyskertamäärän vaikutus kantavuusarvoon

Täryjyrän tiivistyksen seurauksena saattaa jakavan kerroksen kantavuus aleta aluksi (tiettyyn jyräyskertamäärään asti), jonka jälkeen kantavuus alkaa kohota (kuva 25). Täryjyrätiivistyksessä rakenteen tiiviysaste sen sijaan yleensä jaksottaisesti kasvaa ja pienenee (kuva 26) : kantavuusluvun E2 ja tiiviysasteen korrelointi ei olekaan jatkuvasti samansuuntaista.

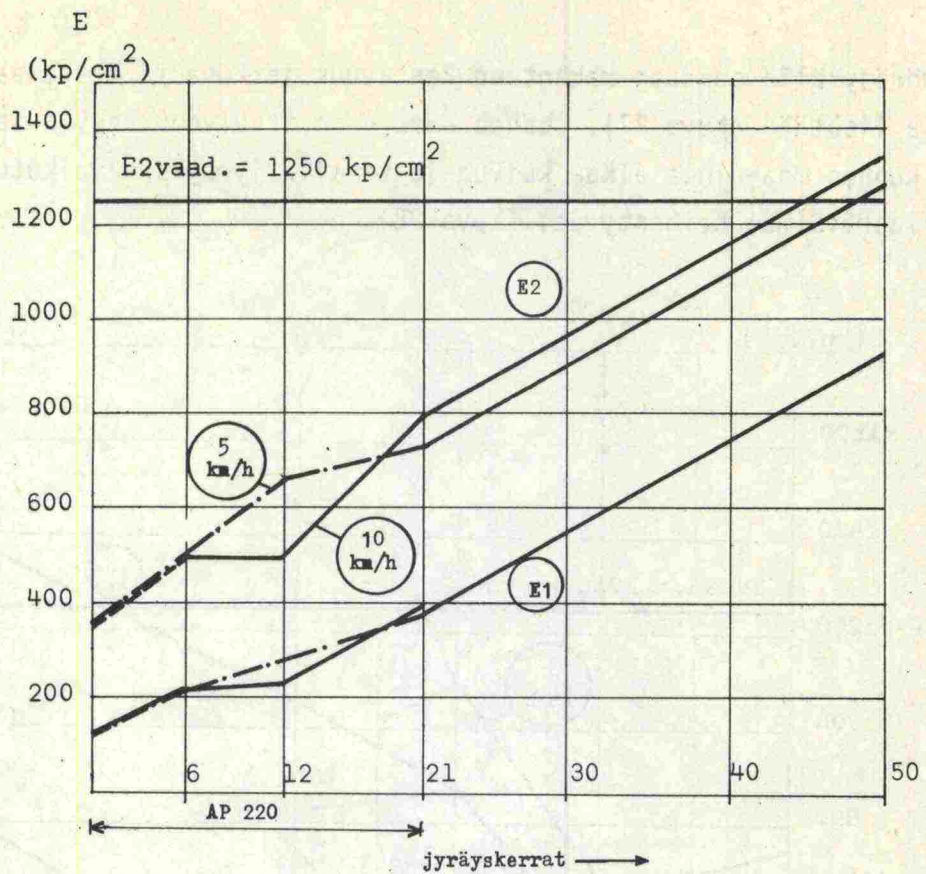
Kumipyöräjyrällä saadaan rakenteen kantavuus jatkuvasti kasvamaan, kun jyräyskertoja lisätään (kuva 27). Lähes samoin on tiiviyden kasvun laita siihen asti, kunnes maa-aines alkaa kuivua ja samalla jyräyksen vaikutuksesta löyhtyä (kapillaarivoimat heikentyvät) (kuva 28).



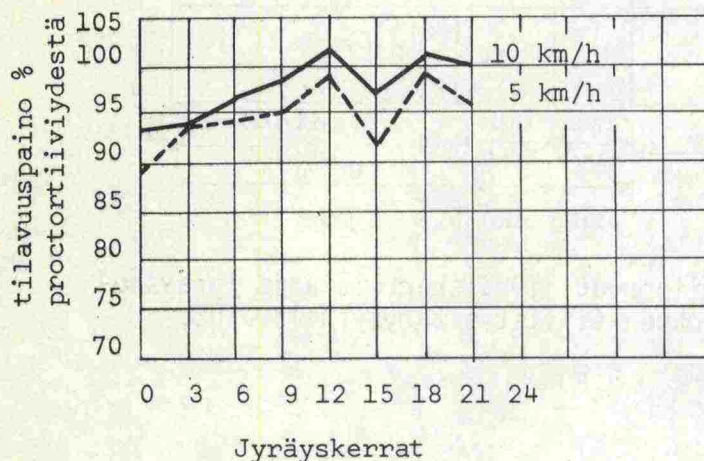
Kuva 25. Kantavuuden riippuvuus jyräyskerroista ja jyräysnopeudesta. Jakavan kerroksen tiivistys täryjyrällä JT08.



Kuva 26. Tiiviysasteen riippuvuus jyräyskerroista ja jyräysnopeudesta (vrt. kuva 25.).



Kuva 27. Kantavuuden riippuvuus jyräyskerroista ja jyräysnopeudesta. Jakavan kerroksen tiivistys kumipyöräjyrällä JK20.

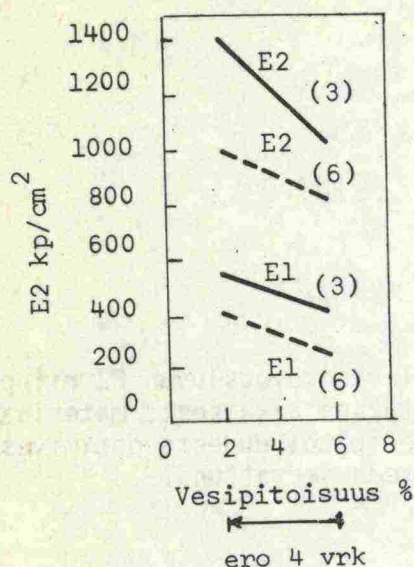


Kuva 28. Tiiviyksasteen riippuvuus jyräyskerroista ja jyräysnopeudesta (vrt. kuva 27.).

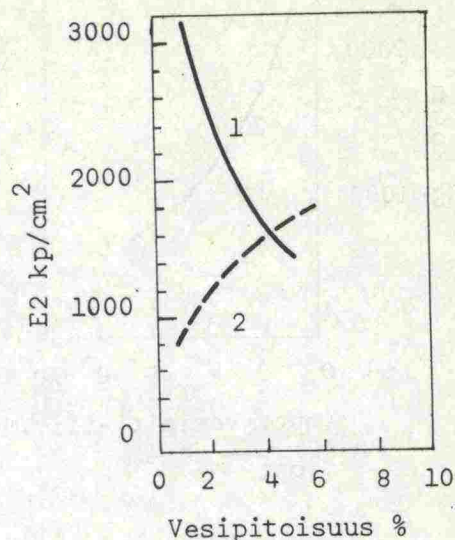
## 2.32 Rakenteen vesipitoisuuden ja kokeen suoritusajankohdan vaikutus kantavuuteen

Vaikuttaa luonnolliselta, että rakenteen vesipitoisuuden kasvaessa samalla sen kantavuus heikkenee. Rakennustöiden aikana kuivalla säällä maa-aineksen vesipitoisuus alenee ajan mittaan ja samalla sen kantavuus lisääntyy (kuva 29).

Kuitenkaan kantavuus ei kohoa aikaa myötenkään, mikäli tutkittavan rakenteen vesipitoisuus ei pienene (kuva 30).



Kuva 29. Jakavan kerroksen kantavuuden riippuvuus kokeen suoritusajankohdasta ja silloisesta materiaalin vesipitoisuudesta. Suluissa olevat luvut ilmaisevat kokeessa käytettyjä jyräysnopeuksia (km/h).



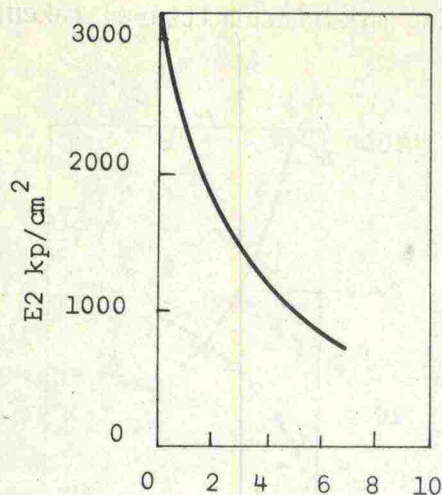
Kuva 30. Kantavuuskokeen suoritusajankohdan vaikutus E2-arvoon vesipitoisuuden funktiona (materiaali murskesora)

2 ----- kantavuuskoe heti  
1 ————— kantavuuskoe 6-13  
vrk kuluttua.

Kuvasta 30 ilmenee myös selvästi, ettei E2-arvo korreloi, ainakaan suoraan, tiiviyssasteen kanssa, sillä tarkasteltavassa tapauksessa rakenteen tiiviyys oli kaiken aikaa 97 % - kantavuus ja vesipitoisuus sen sijaan muuttuivat.

Kuvan 30 mukaan on kantavuuden kannalta edullista tiivistää rakenne optimaalisesti kasteltuna ja tiivistämisen jälkeen antaa rakenteen levätä noin yhden viikon ajan. Mikäli rakenne on tällöin saanut kuivua muutamia %-yksikköjä, on rakenteen kantavuus lisääntynyt 2...3-kertaiseksi.

Mikäli ei ole mahdollista antaa rakenteen levätä muutamia vuorokausia, on suurin kantavuus saavutettavissa (= mittaus välittömästi jyräyksen jälkeen) silloin, kun tiivistys suoritetaan rakenteen ollessa kasteltuna optimivesipitoisuuteen (vrt. kuva 31). Huomattakoon, että tässä tapauksessa suurehko 100 %:n tiiviyssaste on saatu alhaisillakin vesipitoisuuksilla aikaan, mutta kantavuus ei sen sijaan ole kohonnut riittävän suureksi (ts.  $E2 \geq 1250 \text{ kp/cm}^2$ ).



(opt. vesipit.-tiiv.vesipit.)  
 $(w_{opt} - w) \%$

Kuva 31. Kantavuusluvun E2 riippuvuus tiivistyksen aikaisesta materiaalin (Ms) vesipitoisuudesta optimivesipitoisuuteen verrattuna.

#### 2.4 TIIVISTYSKAPASITEETIT JA -KUSTANNUKSET

Tiivistyskapasiteetit riippuvat rakenteen tiivistystyön suoritusnopeudesta ja näin materiaalin tiivistyvyydestä.

Jyräskertamäärä vaikuttaa tiivistyskapasiteetin suuruuteen kääntäen verrannollisesti. Jyräskertojen vaikutus ilmenee myös lisäajoissa: varsinkin vedettävillä jyrillä käännökset pienentävät kapasiteettia siten, että käännösten osuus menetelmän lisäajassa (TL1) kasvaa jyrättävän alueen pituuden lyhentyessä. Käännösten kapasiteettia pienentävä vaikutus tulee merkittäväksi vedettävillä täryjyrillä, jos jyrättävän alueen pituus on alle 400 m ja kumipyöräjyrillä, jos jyrättävän alueen pituus on alle 200 m.

Jyrien pintakapasiteetin arvioimiseksi voidaan käyttää taulukossa 1 esitetyjä arvoja. Niissä on edellytetty täryjyriltä vähintään 400 m:n ja kumipyöräjyriltä vähintään 200 m:n jyräsmatkaa. Taulukossa 1 on jyräysnopeuksina käytetty ohjeellisen nopeusalueen ylä- ja ala-arvoja. Välille sijoittuvat arvot voidaan arvioida lineaarisesti.

Pintakapasiteetit voidaan muuttaa koskettelemaan tilavuusyksikköjä kertomalla pintakapasiteetti tiivistetyn kerroksen paksuudella (ns. massakapasiteetti Q).

Taulukko 1. Pintakapasiteetin määrittäminen (n = jyräskertamäärä).

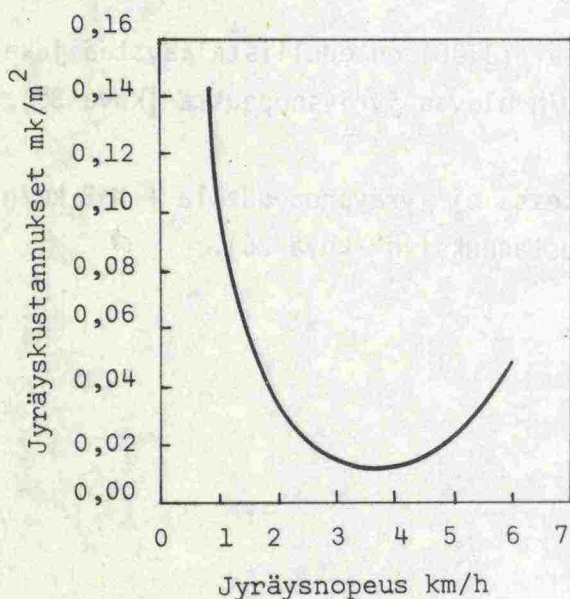
Jyrä	Pintakapasiteetti (K2) m <sup>2</sup> /h	Jyräysnopeus km/h
JK20	18 800/n	10
"	9 600/n	5
JT08	9 400/n	6
"	5 100/n	3
JT05	7 000/n	6
"	4 200/n	3

Liitteissä 1, 2 ja 3 esitetään diagrammit pinta- ja massakapasiteettien sekä tiivistys- ja kastelukustannusten määrittämiseksi.

Tiivistyskustannuksia on mahdollista minimoida suorittamalla tiivistäminen soveltuvalle tiivistyskoneella ja oikealla suoritustavalla.

Tiivistystyön suorituksessa tulee kiinnittää huomiota ennen kaikkea jyräysnopeuteen. Jyrillä on ilmeisesti olemassa tietty optimijyräysnopeus, jota käytettäessä tiivistyskustannukset ovat minimissa, kun samalla myös laatuvaatimukset ovat täytetyt.

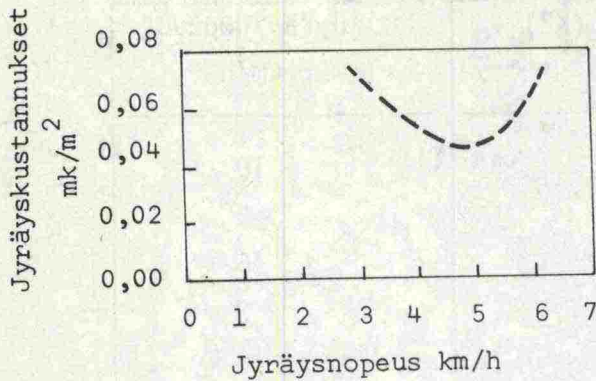
Keskiraskaalla täryjyrällä (JT05) on jakavan kerroksen tiivistämisessä osoittautunut edullisimmaksi jyräysnopeudeksi 3...4 km/h (kuva 32). Huomattakoon, että jyräysnopeuden aletessa alle 3 km/h tiivistyskustannukset kohoavat jyrkästi.



Kuva 32. Keskiraskaan täryjyrän JT05 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin jakavan kerroksen tiivistämisessä (jakavan kerroksen D = 97 %).

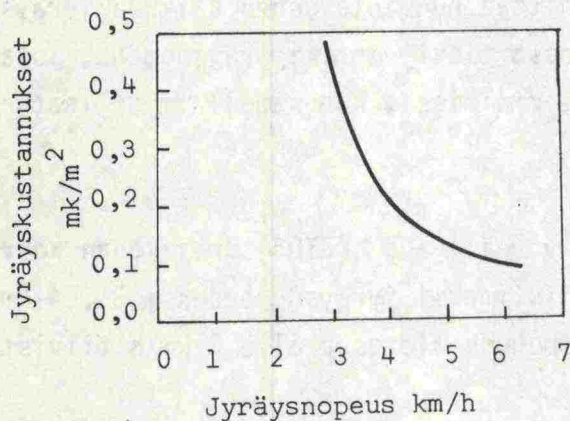


Eristys- ja jakavan kerroksen jyräämisessä ei kuvan 33 mukaan jyräysnopeudella 3...6 km/h ole kovin suurta vaikutusta jyräyskustannuksiin.



Kuva 33. Keskiraskaan täryjyrän JT05 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin jakavan ja eristyskerroksen samanaikaisessa tiivistämisessä (jakavan kerroksen  $D = 97\%$  ja eristyskerroksen  $D = 95\%$ ).

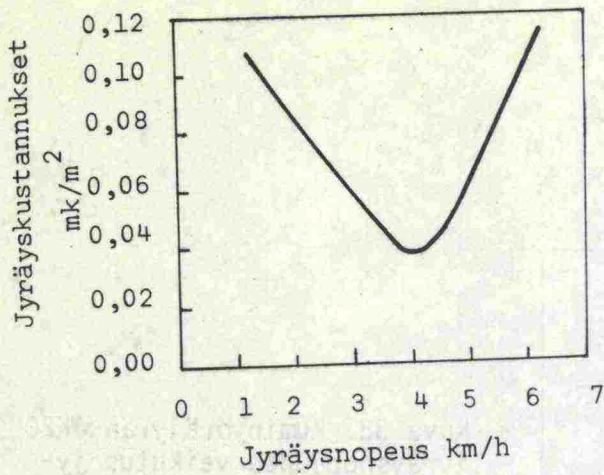
Kantavan kerroksen tiivistämisessä tulee käyttää suurehkoa jyräysnopeutta, yli 4 km/h (kuva 34). Lisäksi suurella jyräysnopeudella on myös kantavan kerroksen alla olevien kerrosten tiiviyksiin sikäli edullinen vaikutus, ettei täryenergia ehdi laskeutua mahdollisimman syvälle, ja näin jakavan ja eristyskerroksen löyhtymiseltä saatetaan välttyä.



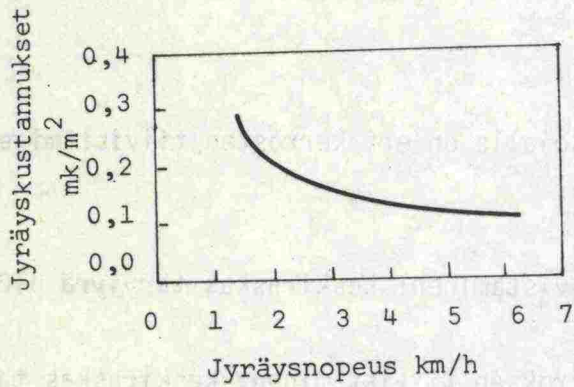
Kuva 34. Keskiraskaan täryjyrän JT05 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin kantavan kerroksen tiivistämisessä (kantavan kerroksen  $D = 97\%$ ).

Raskasalla täryjyrällä (JT08) on edullista käyttää jakavan kerroksen tiivistämisessä noin 4 km/h olevaa jyräysnopeutta (kuva 35).

Jakavan ja eristyskerroksen tiivistämisessä ei jyräysnopeudella ( $> 3$  km/h) ole ratkaisevaa merkitystä tiivistyskustannuksiin (kuva 36).

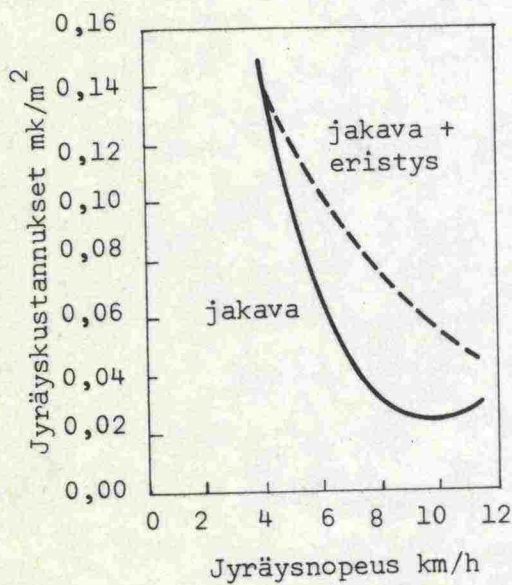


Kuva 35. Raskaan täryjyrän JT08 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin jakavan kerroksen tiivistämisessä (jakavan kerroksen  $D = 97\%$ ).

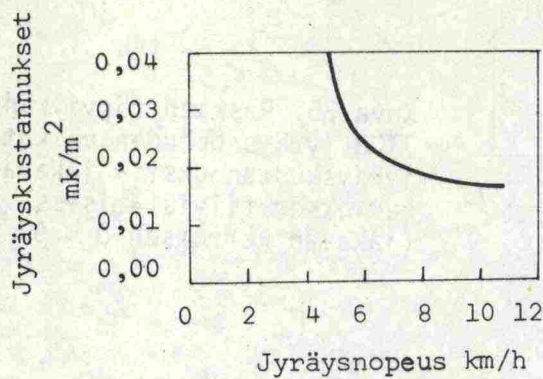


Kuva 36. Raskaan täryjyrän JT08 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin jakavan ja eristyskerroksen samanaikaisessa tiivistämisessä (jakavan kerroksen  $D = 97\%$  ja eristyskerroksen  $D = 95\%$ ).

Kumipyöräjyräillä (JK20) voidaan yleensä pienentää jyräyskustannuksia jyräysnopeutta lisäämällä. Edullinen jyräysnopeus jakavan ja eristyskerroksen sekä jakavan kerroksen tiivistämisessä on yli 9...10 km/h (kuvat 37 ja 38) ja eristyskerroksen sekä penkereen tiivistämisessä, jyrän kulkumahdollisuuksista riippuen, yli 5 km/h.



Kuva 37. Kumipyöräjyrän JK20 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin jakavan kerroksen sekä jakavan ja eristyskerroksen samanaikaisessa tiivistämisessä (jakavan kerroksen  $D = 97\%$  ja eristyskerroksen  $D = 95\%$ ).



Kuva 38. Kumipyöräjyrän JK20 jyräysnopeuden vaikutus jyräyskustannuksiin kantavan kerroksen tiivistämisessä (kantavan kerroksen  $D=97\%$ ).

Edellä esitettyjen tapausten nojalla on eri kerrosten tiivistämisessä taloudellisimmat jyräratkaisut:

- jakavan kerroksen tiivistäminen: keskiraskas täryjyrä JT05, jyräysnopeus 4 km/h
- jakavan ja eristyskerroksen tiivistäminen: keskiraskas täryjyrä JT05, jyräysnopeus 5 km/h
- kantavan kerroksen tiivistäminen: keskiraskas täryjyrä JT05, jyräysnopeus 6 km/h; kumipyöräjyrä JK20, jyräysnopeus 10 km/h.

Tiivistyskoneen valinta voidaan tehdä liitteenä 4 olevan menetelmästandardin mukaisesti.

### 3. TIIVISTYSTYÖN SUORITUS TALVELLA

#### 3.1 YLEISTÄ

Talvitiivistyksellä tarkoitetaan tässä alhaisissa, alle +5 °C:n lämpötiloissa suoritettavaa tiivistystyötä. Maa-aineksen tiivistyminen talvella poikkeaa kesään verrattuna oleellisimmin veden käyttäytymisen suhteen. Lämpötilan aletessa veden viskositeetti kasvaa - erityisesti 0 °C:n läheisyydessä. Näin ollen veden kesäolosuhteissa ilmentämä voiteleva vaikutus muuttuukin tietyn alhaisissa lämpötiloissa tiivistymistä jarruttavaksi vaikutukseksi. Kesällä on mahdollista saada maa-aines tiivistymään puristamalla siitä vettä ja ilmaa pois, mutta talvella veden jäädyttyä on maasta mahdollista poistaa korkeintaan ilmaa irrottamalla toisiinsa jäätyneet rakeet. Kuitenkaan maakerros ei tällöin yleensä enää tiivisty huolimatta siitä, että rakeet saadaan uudelleen järjestymään, sillä rakeita ympäröivä jääkerros vie osan tyhjätilasta. Jotta talvellakin maassa oleva vesi saadaan siirtymään, ei vesi saa jäätyä. Seuraavassa tarkastellaan vesipitoisuuden ja vallitsevan lämpötilan vaikutusta maa-aineksen tiivistyvyyteen.

#### 3.2 TIIVISTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

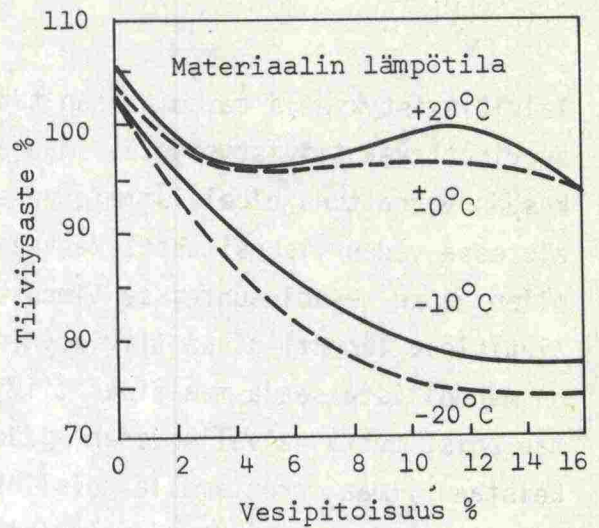
##### 3.21 Vesipitoisuus ja lämpötila

###### 3.211 Teoreettinen katsaus

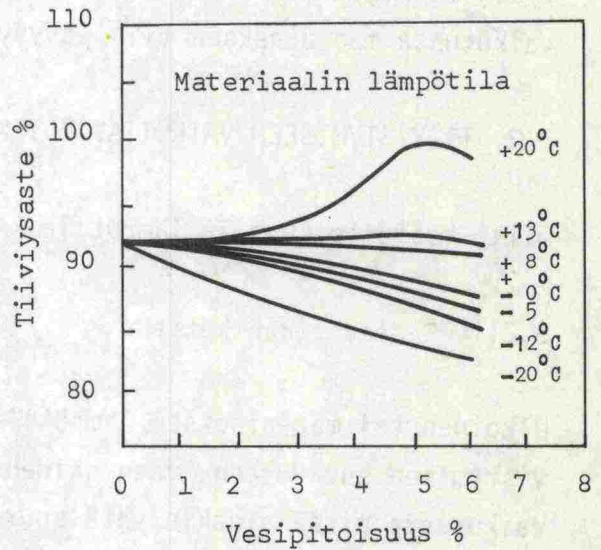
Ulkoinen tai maa-aineksen lämpötila ei yksistään vaikuta ratkaisevasti tiivistymisen suuruuteen, vaan näiden tekijöiden ohella voidaan vesipitoisuuden vaikutusta pitää ainakin yhtä suurena. Lämpötilalla on merkitystä vasta, kun maa-aines on kostea (vrt. kuvat 39 ja 40). Esimerkiksi kuivalle hiekalle on laboratoriokokeissa saatu lähes yhtä suuria tiiviysasteita lämpötiloista riippumatta (kuva 39).

Usein saadaan laboratoriokokeissa kuiva eristyshiekka tiiviimmäksi kuin sen ollessa jossakin kosteustilassa. Jakavan kerroksen materiaali sen sijaan tiivistyy lämpimissä olosuhteissa optimivesipitoisena parhaiten.

Kuva 39. Vesipitoisuuden vaikutus hienon hiekka-aineksen tiivistymiseen eri lämpötiloissa.



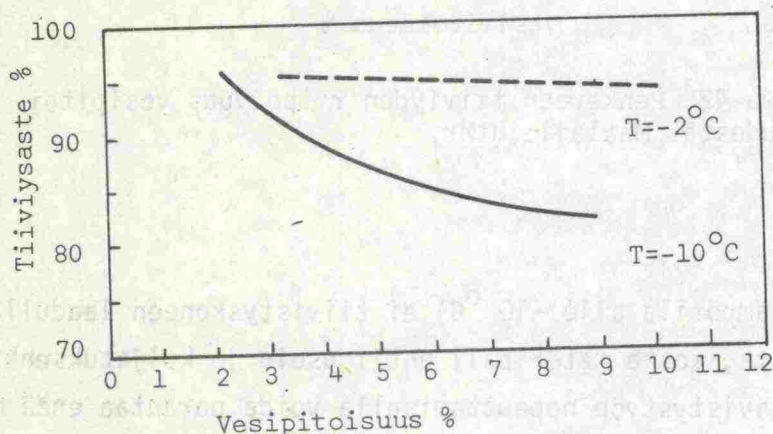
Kuva 40. Vesipitoisuuden ja lämpötilan vaikutus hiekkaisen sora-aineksen tiivistymiseen.



Eristysmateriaalin ja jakavan kerroksen materiaalin tiivistyminen poikkeaa kuitenkin nimenomaan pienillä vesipitoisuuksilla tiivistettäessä. Eristyskerros saadaan kuivana tiivistettynä suhteellisesti tiiviimpään olotilaan kuin kuiva jakava kerros. Tästä syystä pakkasolosuhteissa eristyskerros voidaan usein saada laatuvaatimusten mukaiseen tiiviyyteen tietyllä vesipitoisuusohjealueella - jakavan kerroksen osalta tilanne on toisenlainen (vrt. kuvat 39 ja 40).

### 3.212 Penkereen tiivistyminen

Sora- ja hiekkapitoiset pengermateriaalit voidaan tiivistää talvella laatuvaatimusten mukaiseen tiiviyyteen, mikäli vesipitoisuus on tarpeeksi alhainen. Kuvan 41 mukaan on ollut mahdollista saada soraista hiekkaa oleva, 50 cm paksu penger kumipyöräjyrällä (JK20) vaadittavaan tiiviyyteen (90...95 %) silloin, kun vesipitoisuudesta riippumatta ulkoinen lämpötila on tiivistyksen aikana ollut yli  $-2^{\circ}\text{C}$  tai tätä alhaisemmissa lämpötiloissa silloin, kun vesipitoisuus on ollut tiiviysvaatimuksesta riippuen alle 2,5...3,5 %.

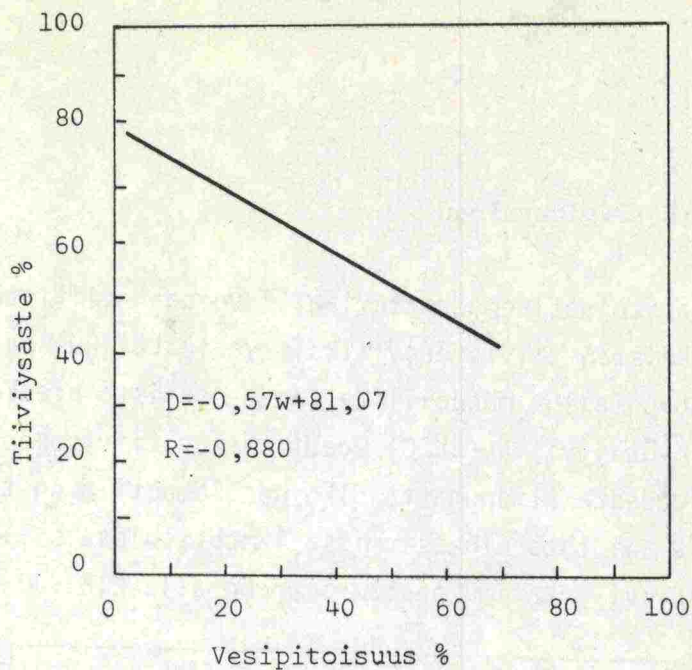


Kuva 41. Ulkoisen lämpötilan vaikutus penkereen tiiviyssasteen ja vesipitoisuuden väliseen riippuvuuteen. Maalaji: srHk, tiivistys kumipyöräjyrällä JK20.

Jos pengermateriaali on kovin hienorakeista ja kosteata, ei tällaista pengerä saatane talvisaikaan tiivistymään. Tiivistystyön suuruudesta ja ulkoisesta lämpötilasta riippumatta jää kostean ja runsaasti hienorakeista maata sisältävän penkereen tiiviys varsin alhaiseksi (kuva 42). Tällöin penkereessä myöhemmin tapahtuva, kuivumisesta johtuva kokoonpuristuminen on usein suuri (20...35 %) (vrt. kohta 3.4).

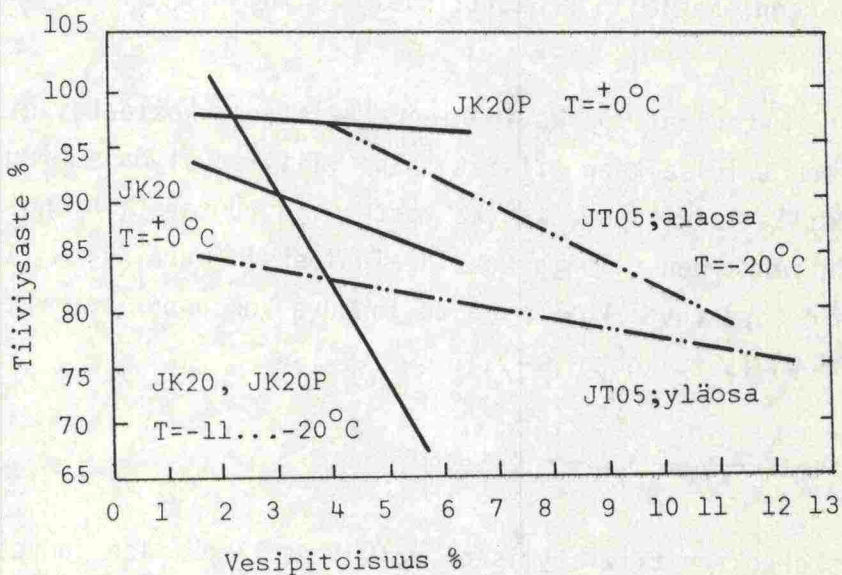
### 3.213 Eristyskerroksen tiivistyminen

Eristyskerroksen tiivistymiseen vaikuttaa lämpötilan ja vesipitoisuuden ohella oleellisesti myös tiivistyskone. Kuvan 43 mukaan on puskulevyllä varustetulla kumipyöräjyrällä (JK20P) saatavissa  $0^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa yli 95 %:n tiiviys vesipitoisuudesta (< 10 %) riippumatta. Tavallisella kumipyöräjyrällä (JK20) on saatu aikaan 95 %:n tiiviys vain silloin, kun eristysmateriaalin vesipitoisuus on ollut alle 1,5 %.



Kuva 42. Penkereen tiiviyden riippuvuus vesipitoisuudesta. Maalaji: htMr.

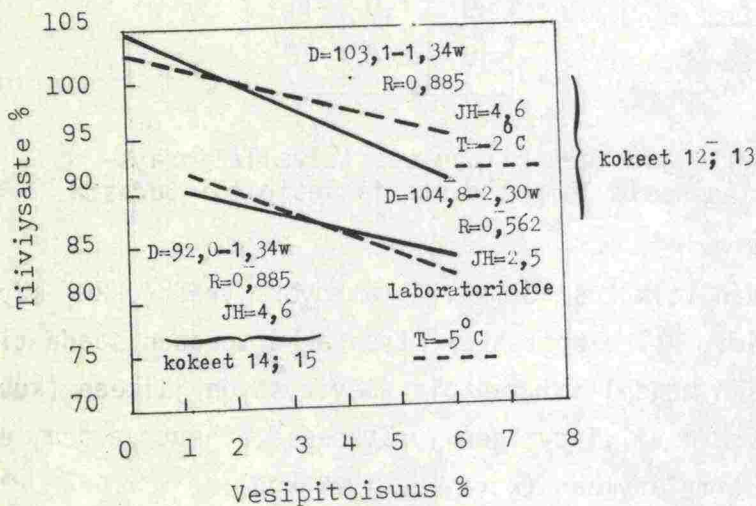
Pakkassäällä (lämpötila alle  $-10^{\circ}\text{C}$ ) ei tiivistuskoneen laadulla ole enää paljoa merkitystä, koska materiaali ehtii usein jo kuljetuksenkin aikana jäätymään, eikä tiivistystyön nopeuttamisella voida parantaa enää materiaalin tiivistymistä.



Kuva 43. Eristyskerroksen tiivysasteen riippuvuus vesipitoisuudesta, ulkoisesta lämpötilasta ja tiivistuskoneesta.

## 3.214 Jakavan kerroksen tiivistyminen

Jakavan kerroksen materiaalin tiivistyvyys riippuu erittäin herkästi vallitsevasta lämpötilasta ja vesipitoisuudesta. Jakava kerros on mahdollista saada laatuvaatimusten mukaiseen 97 %:n vähimmäistiiviyyteen sekä täry- että kumipyöräjyrillä, jos ulkoinen lämpötila on yli  $-2^{\circ}\text{C}$  ja samalla materiaalin vesipitoisuus alle 3,5 % (vrt. kuva 44). Sen sijaan  $-2^{\circ}\text{C}$  kovemmillä pakkasilla yli 90 %:n tiiviys lienee vaikeasti saavutettavissa.



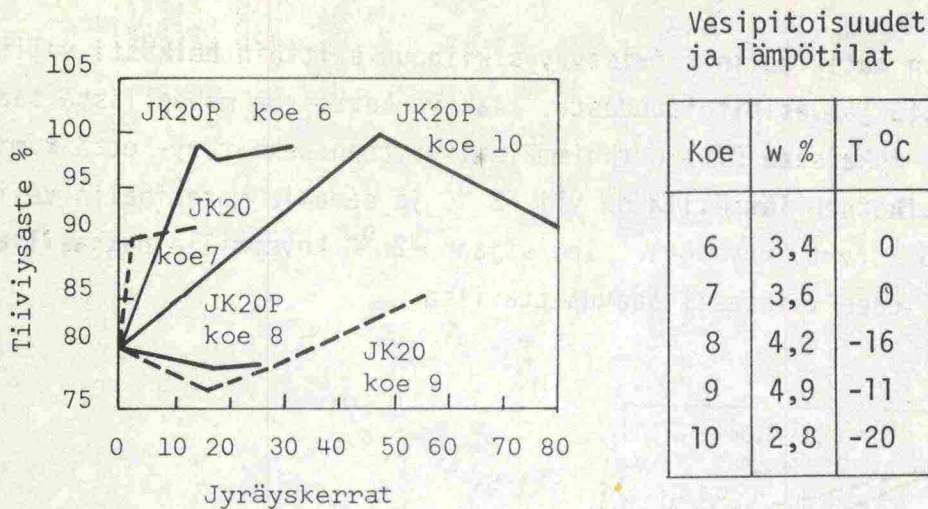
Kuva 44. Jakavan kerroksen tiiviyssasteen riippuvuus vesipitoisuudesta eri lämpötiloissa. Maa-laji: hkKSr.

## 3.22 Tiivistystyömäärä ja tiivistystyön ajoitus

Maa-aineksen tiivistyminen pakkasäällä riippuu luonnollisesti tiivistämisprosessin nopeudesta, ts. siitä, kuinka kauan maakerrosta on "häiritävä". Tietyn ajan kuluttua maa-aineksen rakeet jäätyvät, jolloin niiden siirtymisen toisiaan lähemmäksi ei ole enää mahdollista. Tällöin, mikäli tiivistystyö jatkuu edelleen, rakenteesta tulee löyhäkö mururakenne.

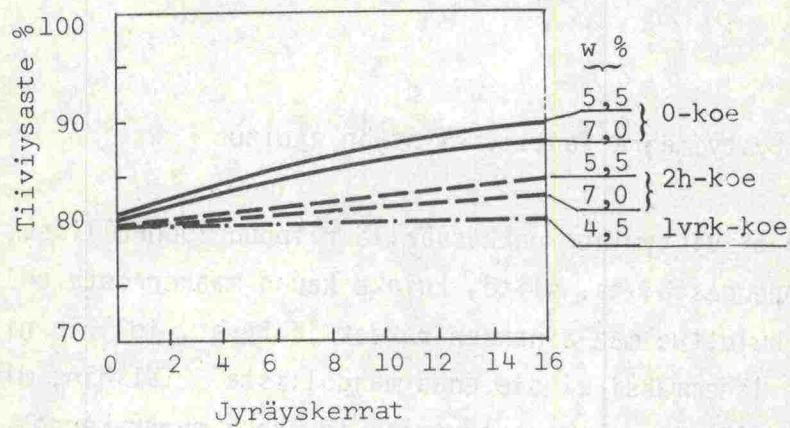
Kostean eristyskerroksen tiivistyminen saattaa olla huomattavasti suurempaa, jos tiivistäminen suoritetaan välittömästi levitystyön yhteydessä (kuva 45). Kuvassa 45 esitetystä tapauksesta on puskulevyllä varustetulla kumipyöräjyrillä (JK20P) päästy 7...8 %-yksikköä suurempaan tiiviyyteen kuin tavallisella kumipyöräjyrillä (JK20). - Kovalla pakkasella ( $-11...-16^{\circ}\text{C}$ ) ei kosteaa eristysshiekkaa ole kummallakaan jyrätyypillä saatu tiivistymään.





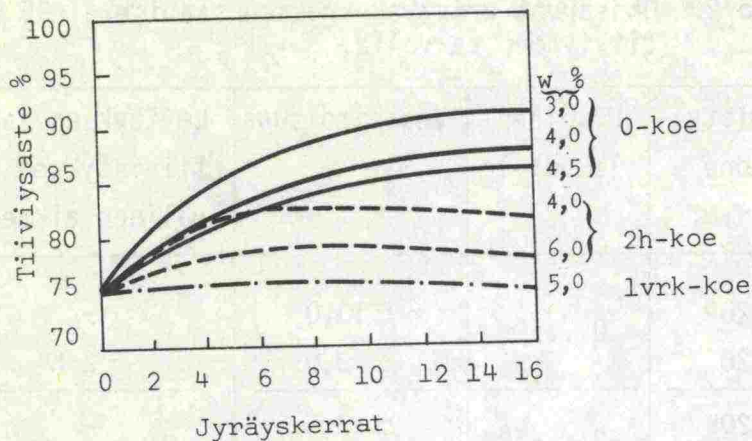
Kuva 45. Eristyskerroksen tiiviyssasteen riippuvuus talvella jyräyskerroista, jyrätyypistä, ulkoisesta lämpötilasta ja vesipitoisuudesta.

Jyräämisen suoritusajankohdan vaikutus normaalia kumipyöräjyrää (JK20) käytettäessä ilmenee kuvasta 46. Melko kostea eristyshiekka voidaan saada tiiviimmäksi, jos jyräys tehdään mahdollisimman pian levitystyön jälkeen (kuva 46, 0-koe) - sen sijaan 1 vrk:n viivästyminen jyräyksessä aiheuttaa sen, ettei eristyskerrosta saada enää tiivistymään (kuva 46, 1vrk-koe).



Kuva 46. Eristyskerroksen tiivistymisen riippuvuus jyräyskertamäärästä ja jyräyksen ajoituksesta eri vesipitoisuuksilla. Maalaji: HHk.

Eristyskerroksen tapaan on myös jakavan kerroksen tiivistyminen riippuvainen jyräyksen ajoituksesta (vrt. kuva 47). Tiivistystyössä ilmenevän yhden vuorokauden viivyttelyn seurauksena jyrääminen on tällöin turhaa.



Kuva 47. Jakavan kerroksen tiivistymisen riippuvuus jyräyskertamäärästä ja jyräyksen ajoituksesta eri vesipitoisuuksilla. Maalaji: hkSr, tiivistys kumipyöräjyrillä JK20.

Talvitiivistyksessä ei kumipyöräjyrillä (JK20, JK20P) ole tarkoituksenmukaista käyttää yli 16 jyräyskertaa hiekka- ja soramaalajien tiivistämisessä. Suotuisissa talviolosuhteissa saatetaan usein edellistä vähäisemminkin jyräyskertamäärillä, 8...10, päästä suhteellisesti maksimaaliseen tiiviyteen.

### 3.3 LAATUVAATIMUSTEN MUKAISTEN TIIVIIKSIEN SAAVUTTAMINEN TALVIOLOSUHTEISSA

Penkereen tiivistyminen talvella riippuu oleellisesti maalajista. Hiekka- ja sorapitoiset maalajit voidaan saada 92...95 %:n tiiviyteen talvella, mikäli materiaalin vesipitoisuus on alle 10 % ja samalla ulkoinen lämpötila yli  $-2^{\circ}\text{C}$ . Jos ulkoinen lämpötila on alhaisempi, esimerkiksi  $-5...-10^{\circ}\text{C}$ , voidaan 92...95 %:n tiiviyssaste saavuttaa tavallisilla kumipyöräjyrillä vain, jos penkereen vesipitoisuus on alle 3,0 % ja jyräys suoritetaan vähintään kahden tunnin sisällä materiaalin tuonnista. - Siltti- ja savipitoiset maalajit ovat varsinkin talviolosuhteissa huonoja tiivistymään, mikä suurelta osin johtuu niiden korkeasta vesipitoisuudesta. Tällöin tiivistäminen on usein turhaa, eikä yli 70...80 %:n tiiviyttä voitane saavuttaa.

Eristyskerroksen tiivistämiselle on asetettavissa edellistä tarkemmat raja-arvot tämän saamiseksi 95 %:n tiiviyteen mm. tasalaatuisemmasta maa-aineksesta johtuen. Ohje-arvot esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Ohjearvot eristyskerroksen saamiseksi 95 %:n tiiviyteen talvella.

Tiivistys- kone	Ulkoisen lämpötila °C	Vesipitoisuus %	Levityksen ja tiivistyksen välinen aikaero
JK20P JK20	0...-2	≤ 10,0 ≤ 3,0	- ≤ 2 h
JK20P JK20	-2...-10	≤ 3,5 ≤ 2,5	- ≤ 2 h
JK20P JK20 JT05	-10...-20	≤ 2,5 ≤ 2,5 ≤ 1,0	- ≤ 2 h ≤ 2 h

Jakava kerros on talvisaikaan tiivistyvyydeltään usein huomattavastikin huonompi kuin eristyskerros. TVH:n laatuvaatimusten mukainen 97 %:n vähimmäistiiviyys on yleensä saavutettavissa vain, jos lämpötila on yli  $-2^{\circ}\text{C}$ , tiivistystyö suoritetaan kahden tunnin sisällä materiaalin levityksestä ja lisäksi materiaalin vesipitoisuus on alle 3,5 %. Edellä mainittua kosteampi tai kylmemmissä olosuhteissa oleva jakava kerros jäänee noin 80...90 %:n tiiviyteen.

### 3.4 TALVITIIVIYDESSÄ MYÖHEMMIN TAPAHTUVAT MUUTOKSET

Talvella tiivistetyn maakerroksen tiiviyys yleensä kohoaa seuraavan kesän aikana. Jälkitiivistyksen suuruuteen vaikuttaa mm. talvella käytetty tiivistyskone ja sen työskentelytapa, tiivistystyön ajoitus, tiivistetty maa-laji ja sen vesipitoisuus sekä ulkoiset olosuhteet.

Eristyskerroksen tiivistyminen on ollut suoritetuissa tutkimuksissa keskimäärin 3 %-yksikköä sellaisissa tapauksissa, missä tiivistäminen suoritettiin kumipyöräajurilla. Jos eristyskerroksen päällä olevaa jakavaa kerrosta tiivistetään täryjyrällä, on eristyskerros tällöin yleensä löyhtynyt ja tämä löyhtymistila on säilynyt usein yli seuraavan kesänkin.

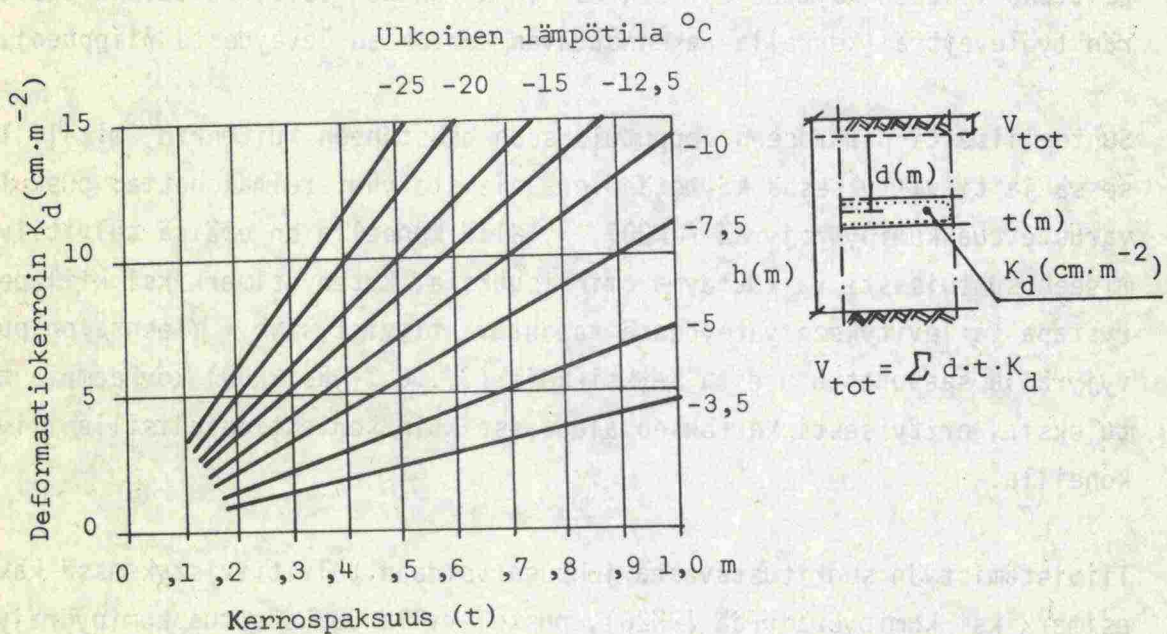
Jakava kerros tiivistyy yleensä eristyskerrosta enemmän seuraavana kesänä. Suoritetuissa tutkimuksissa on jakava kerros tiivistynyt noin 6...15 %-yksikköä jyrätyypistä riippuen siten, että täryjyriä käytettäessä tiivistyminen on ollut suurempaa kuin kumipyöräajuria käytettäessä, mikä

johtuu talvella täryjyrillä saavutettavista alhaisemmista tiiviyksistä. Koska jakavan kerroksen jälkitiivistyminen on melko suurta, ei jakavaa kerrosta välttämättä tarvitsisi saadakaan talvella 97 %:n tiiviyteen.

Talvella tiivistetyn eristyskerroksen myöhäisempi kokoonpuristuminen jää yleensä melko vähäiseksi. Kokoonpuristumisen suuruus riippuu luonnollisesti talvitiivistyksen tuloksesta, mutta tavallisesti seuraavana kesänä eristyskerros painuu kokoon 1...3 %.

Jakavan kerroksen jälkitiivistymisestä johtuva kokoonpuristuminen saattaa nousta varsin suureksikin riippuen täysin talvitiivistyksen onnistumisesta. Jos esimerkiksi  $-20^{\circ}\text{C}$ :n pakkasessa tiivistetään hinattavalla täryjyrällä kosteata ( $w > 5\%$ ) jakavaa kerrosta, saattaa myöhäisempi kokoonpuristuminen olla noin 15...20 %. Sen sijaan  $0^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa yhdistelmäkoneella rakennetun jakavan kerroksen kokoonpuristuminen jää 0...5 %:iin.

Kosteina rakennetut hienorakeiset penkereet saattavat myöhemmin painua kokoon huomattavastikin (20...35 %). - Ruotsissa on laadittu diagrammi penkereen painumien arvioimiseksi, kun penkereen rakentamisen aikainen lämpötila ja kerrospaksuus tunnetaan (kuva 48).



Kuva 48. Penkereen kokoonpuristumisen riippuvuus tiivistyksen aikaisesta lämpötilasta ja kerrospaksuudesta sekä kerroksen yläpuolisen kerroksen paksuudesta. Maalaji: kiMr, täryjyrä 3,5 Mg, 6 ylituskertaa.

Kuvan 48 mukaan esimerkiksi 0,50 m paksu pengerrys painuu 1,00 m paksun päällysrakenteen vaikutuksesta seuraavan kesän aikana, jos tiivistäminen täräjäjyrällä JT03 (6 ylityskertaa) on tapahtunut  $-20^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa:

$$V_{\text{tot}} = 12,5 \cdot 1,00 \cdot 0,50 = 6,25 \text{ cm}$$

### 3.5 TALVITIIVISTYSTYÖN SUORITTAMINEN

Jyrääminen olisi suoritettava talvella siten, että levitettävä maa-aines tulee mahdollisimman nopeasti tiivistetyksi, ts. jyrän tulee seurata levityskonetta sen välittömässä läheisyydessä eikä jyrä myöskään saa tiivistää samaa kohtaa liian kauan. Tiivistämistyön suorittamisnopeus pintayksikköä kohti riippuu paljolti materiaalin tuontikapasiteetista. Massan tulokapasiteetin ( $K_2$ ) olisi oltava noin 200 m<sup>3</sup>itd/h, jolloin optimaalinen tienrakentaminen mahdollistuisi. Tällöin esimerkiksi 0,5 m paksu (löyhänä) kerros etenee noin 40 m/h ja jyrä voi työskennellä noin 20 m:n etäisyydellä levityskoneesta (riippuen mm. tien leveydestä ja kuljetusajoneuvojen tulosuunnasta). Tällaisessa tapauksessa jyrä ehtii suorittaa noin 15...20 ylityskertaa (jyräysnopeudesta, liikeradan pituudesta, tien leveydestä jne. riippuen). Jyrän liikeradan tulee olla edestakaista, pituudeltaan 20...40 m olevaa liikettä siten, että jyrä suorittaa samaa työleveyttä kohti jyräskertoja parittain. Jyräyspeittona voidaan käyttää esimerkiksi yhtä renkaan leveyttä taikka puolta jyrän työleveyttä (kerralla rakennettavan kerroksen leveydestä riippuen).

Suhteellisesti parhaaseen lopputulokseen päästään kuitenkin, mikäli levityksessä ja tiivistyksessä käytetään eräänlaista yhdistelmäkonetta: puskulevyllä varustettua kumipyöräjyrää (JK20P). Tällä koneella on eräitä talvitiivistämiseen suotuisasti vaikuttavia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kiilapengerystapa ja levityksen yhteydessä tapahtuva tiivistystyö. Yleensä on puskulevyjyrällä saavutettu useita %-yksikköjä (3...8 %-yksikköä) korkeampia tiivistystuloksia, erityisesti kerroksen alaosassa kuin konventionaalisilla tiivistyskoneilla.

Tiivistämistyön suoritustavasta johtuen voidaan talvitiivistyksessä käyttää esimerkiksi kumipyöräjyrää (JK20), puskulevyllä varustettua kumipyöräjyrää (JK20P) ja kumipyörävetoista täräjäjyrää (JTM06...09K). Täräjäjyriä ei talvella tulisi käyttää muun kuin penkereen tiivistämisessä, koska sen täräjävaikutuksen takia kerrosrakenteiden alla olevat kerrokset saattavat löyhtyä.

### 3.6 TIIVISTYSKAPASITEETIT JA -KUSTANNUKSET

Talvitiivistystyössä käytettävä lyhyehkö jyräysmatka 20...40 m alentaa tiivistyskapasiteettia vastaavaan kesätiivistykseen verrattuna. Kumipyöräjyrillä jyräysnopeudet kohoavat menosuunnassa 5,0...6,0 km/h ja paluusuunnassa 4,5...5,5 km/h. Vastaavasti kumipyörävetoisella täryvalssijyrällä nopeudet menosuunnassa ovat 4,0...4,5 km/h ja paluusuunnassa 3,5...4,2 km/h. Suunnanvaihto kestää kumipyöräjyrillä, mikäli ajolinjaa ei vaihdeta, noin 5 cmin ja jos ajolinjaa vaihdetaan, noin 15 cmin. Vastaavasti kuluttaa kumipyörävetoinen täryvalssijyrä suunnanvaihdoksiin noin 5 cmin ja noin 13 cmin.

Jyrien menetelmäkapasiteetti-arvot saadaan taulukosta 3. Puskulevyllä varustetun kumipyöräjyrän tiivistyskapasiteettina voidaan käyttää materiaalin tu-  
lokapasiteettia ( $\approx$  kuormauskapasiteetti).

Taulukko 3. Jyrien tiivistyskapasiteetit (K2).

Jyräysmatka m	Jyrä	
	JK20	JTM06K
20	6 900/n	6 000/n
40	8 100/n	6 900/n

n = jyräyskertamäärä

Jyräysmatkan poiketessa taulukon 3 arvoista voidaan tarvittava kapasiteetti-arvo approksimoida lineaarisesti. Käytännössä kuormaus- ja kuljetuskalusto tulisi arvioida jyrien suorituskykyjen mukaan, koska varsinkin pakkasella huonosti tahdistettu työ heikentää maakerroksen tiivistyvyyttä. Lähtökohdaksi voidaan ottaa jyräyskertamäärä 16 ja arvioida jyrän kapasiteetista tarvittava kuormaus- ja kuljetuskalusto kuormauskapasiteetin (taulukko 4) ja ajomatkan mukaan.

Taulukko 4. Ohjeelliset kuormauskapasiteetit eri jyrätyypeille jyräskertamäärän ollessa 16.

Jyrä	Jyräysmatka m	Tiivistetyn kerroksen paksuus, m			
		0,3	0,4	0,5	
JK20	20	190	250	310	
	40	215	290	360	
JTM06K	20	160	215	265	
	40	190	245	304	
JK20P	5...10	170	250	300	1)
		180	220	245	2)

1) eristyskerros 2) jakava kerros

Työvuorokapasiteettiä (K3) voidaan laskea K2-kapasiteeteista

$$K3 = 0,90 \cdot K2.$$

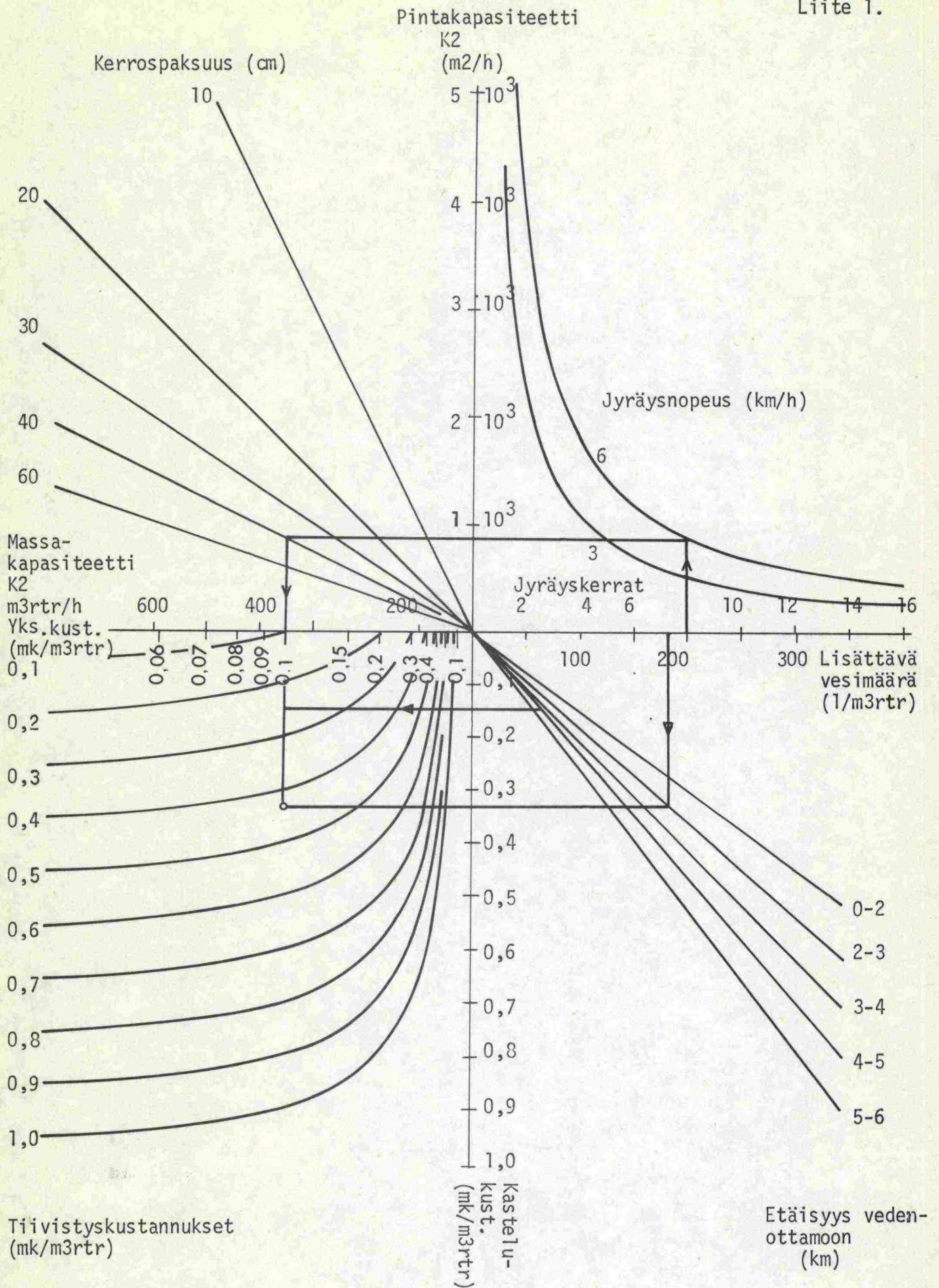
Jyräyskustannukset saadaan jakamalla yksikköhinta kapasiteettiä arvolla. Enimmäisohjevuokrahintojen (1974) mukaan saadaan jyräyskustannuksiksi ( $\text{mk}/\text{m}^2$ ), jos jyräskertamääränä käytetään 16 ja kerrospaksuutena 0,40 m (tiivinä):

Jyräysmatka m	JK20	Jyrä	
		3) JTM06K	4) JK20P
20	0,104	0,141	1) 0,110
40	0,090	0,123	2) 0,125

1) eristyskerros 2) jakava kerros 3) 76 mk/h

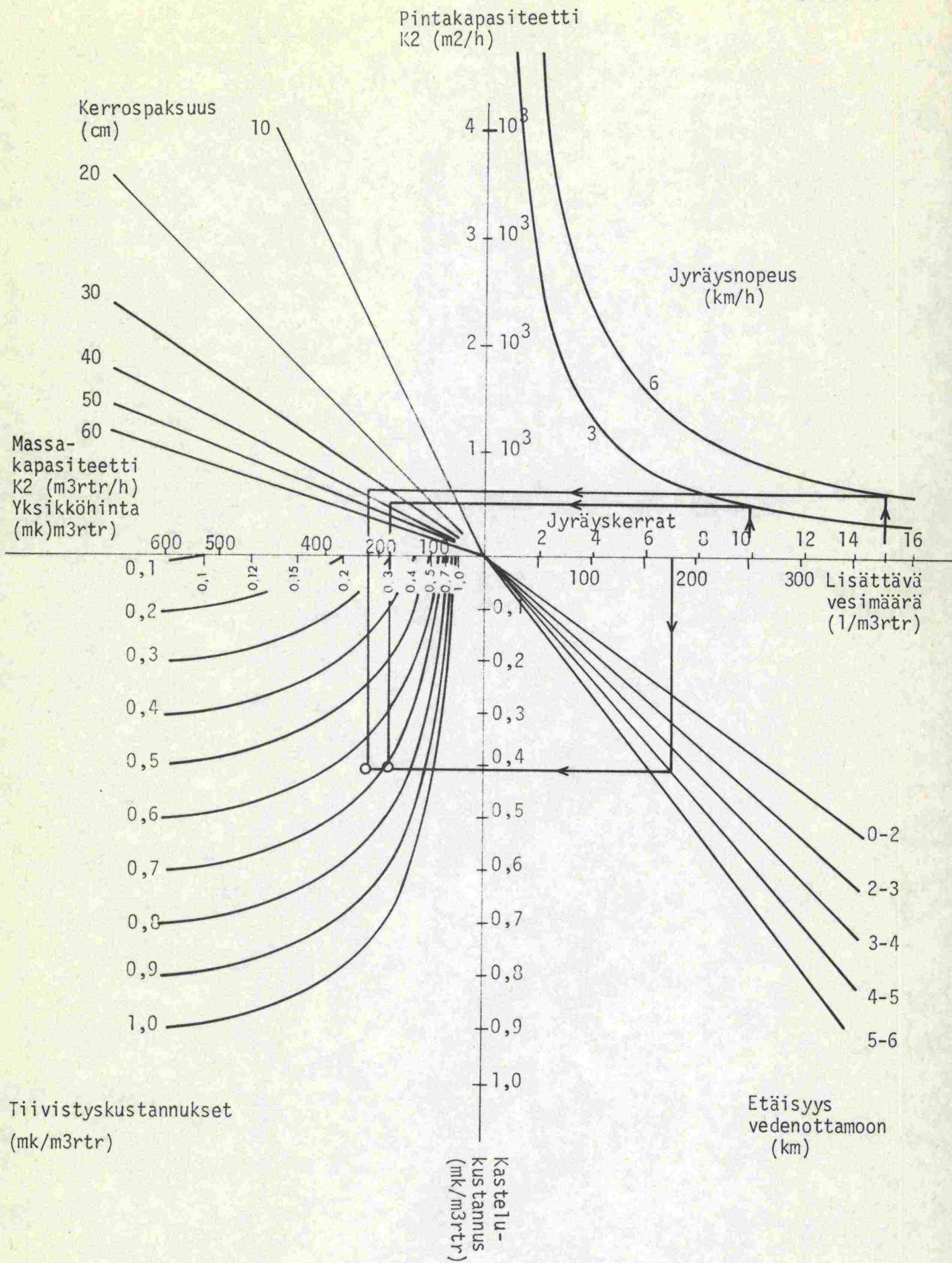
4) suorittaa myös levitystyön

Kustannuksiltaan jyrät ovat lähes tasaveroisia. Huomattavaa on kuitenkin, että puskulevyjyrä (JK20P) suorittaa samalla myös materiaalin levityksen, joten sen kustannuksiin voidaan katsoa sisältyvän myös levityskustannukset. Laadullisesti saadaan puskulevykoneella (JK20P) myös tiiveintä rakennelmaa.

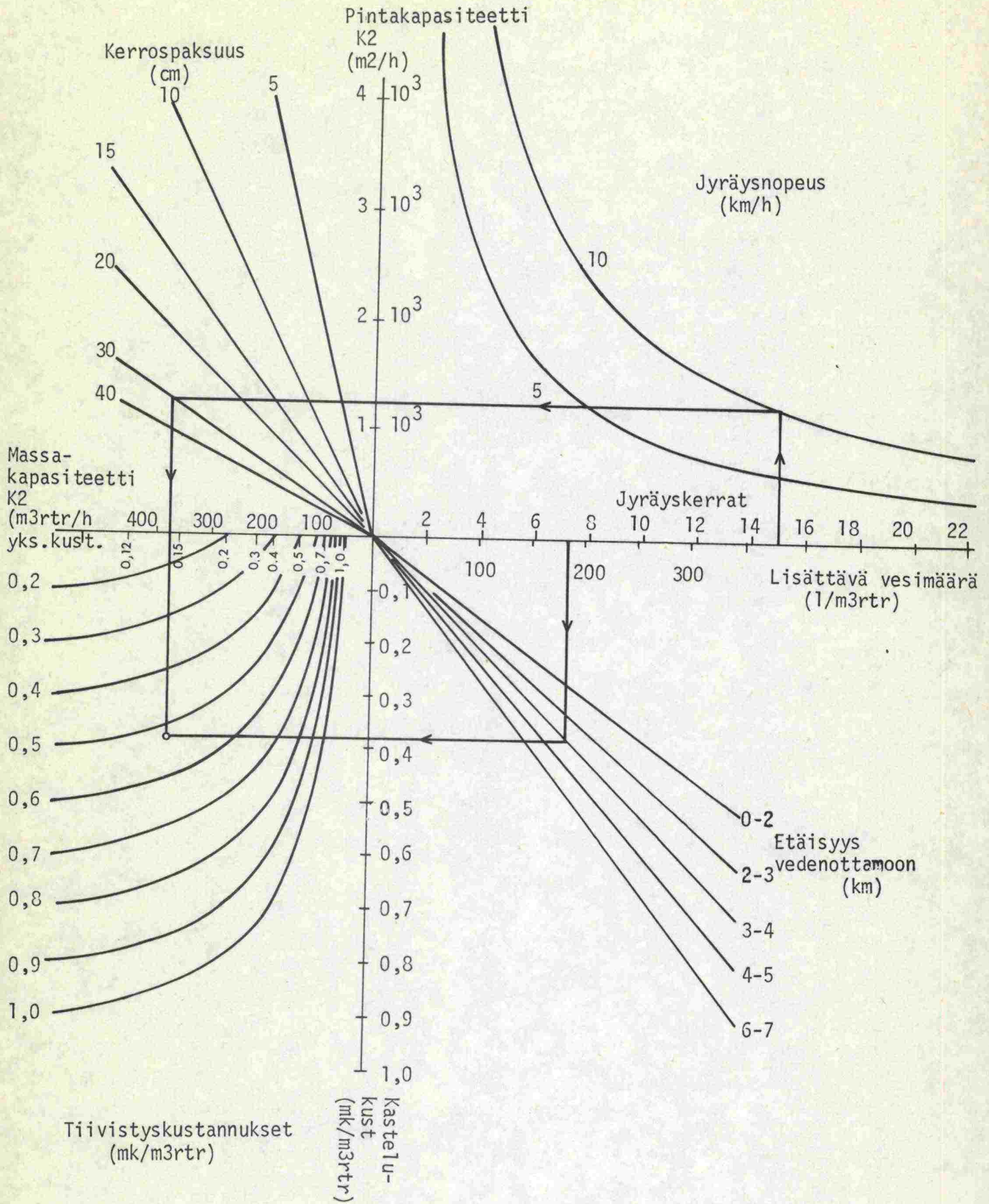


Täryjyrän JT 05 K2-kapasiteetit, jyräys-, kastelu- ja tiivistyskustannukset





Täryjyrän JT 08 K2-kapasiteetit sekä jyräys-, kastelu- ja tiivistyskustannukset



Kumipyöräjyrän JK 20 K2-kapasiteetit sekä jyräys-, kastelu- ja tiivistyskustannukset

VALTION MAARAKENNUSALA	PÄÄLLYSRAKENNETYÖT	VIRASTO	SIIJOITUS	KFK. NO	
	PENGER/ERISTYS-/ERISTYS- JA JAKAVA-/JAKAVA/KANTAVAKERROS	TVH VH VR HRR KR	21.1600	3034	
	TIIVISTYS	Laatija	TVH/J	9	73

ALUS- JA PÄÄLLYSRAKENTEEN SITOMATTOMIEN KERROSTEN  
TIIVISTÄMINEN

JYRÄ	KÄYTTÖALA JA SOVEL- TUUVUUS (ks. takasivu)		ERITYISOHJEET JA TYÖNSUORITUS	ENDITÄISKERROS- PAKSUUS cmrtd	TYÖSAAVUTUKSET JA KUSTANNUKSET		
					(1) JYRÄSKERRAT	(2) K3-KAPASITEETTI m2rtd/h	(3) KUSTANNUKSET mk/m2rtd
JT05 täryjyrä 5...8 t	PENGER (soveltuu)	**	- jyräysnopeus 2...3 km/h - vesipitoisuus $W \leq W_{opt} + 1\%$ -yks.	50	1...3	900...2700	0,01...0,04
	JAKAVA KERROS (soveltuu)	**	- jyräysnopeus 3...6 km/h - vesipitoisuus $W \geq 5\%$ - materiaalin kivisyys < 15 %	40	2...5	1400...2000	0,02...0,03
	ERISTYS- JA JAKAVA KERROS samanaikaisesti (soveltuu hyvin)	** (***)	- jyräysnopeus 3...6 km/h - molempien kerrosten vesipitoisuus $W \geq 5\%$ - jakavan kerroksen kivisyys < 15 - eristyskerroksen alkutiiviys $\geq 90\%$	30/eristys 25/jakava	9	500...800	0,03...0,07
	KANTAVA KERROS (soveltuu)	**	- jyräysnopeus 3...6 km/h - vesipitoisuus $W = W_{opt} \pm 1\%$ -yks. - jakavan kerroksen tiiviys $\geq 97\%$ - suurehkoa (yli 6) jyräyskertamäärää tu- lee välttää alla olevien rakennesosien löyhtymisen takia	20	3	1100...2250	0,02...0,03
JT08 täryjyrä 8...10 t	PENGER (soveltuu suu- rehkoa 3 km/h jyräysnopeutta käytettävissä)	**	- jyräysnopeus 1...3 km/h - vesipitoisuus $W = W_{opt} \pm 1\%$ -yks.	50	1...2	800...1600	0,03...0,07
	JAKAVA KERROS (soveltuu)	**	- jyräysnopeus 3...6 km/h - vesipitoisuus $W \geq 5\%$ - materiaalin kivisyys < 15 %	60	2...5	1700...3000	0,02...0,03
	ERISTYS- JA JAKAVA KERROS samanaikaisesti (soveltuu hyvin)	**	- jyräysnopeus 3...6 km/h - jakavan kerroksen kivisyys < 15 % - eristyskerroksen alkutiiviys $\geq 90\%$ - molempien kerrosten vesipitoisuus $W \geq 5\%$	30/eristys 40/jakava	15...20	300...400	0,14...0,18
JK20 kumipyö- räjyrä 20 t	PENGER (soveltuu mikkä- li materiaali ei ole liian kivistä, ts #64 mm<20...30%)	**	- rengaspaine 3...8 aty - jyräysnopeus $\geq 5$ km/h - vesipitoisuus $W = W_{opt} + (0...2)\%$ -yks. - soveltuvat materiaalit: yleensä kaikki koheesio- ja kitkamaalajit; kalliilouhe ei sovellu	50	4	2100	0,03
	ERISTYSKERROS (soveltuu hyvin)	***	- rengaspaine 3...4 aty - jyräysnopeus $\geq 5$ km/h - jyräyskertamäärää suurentaa sekä eris- tyskerroksen huono alkutiiviys että al- hainen vesipitoisuus	40	3...5	1600...2800	0,02...0,03
	JAKAVA KERROS (soveltuu)	**	- rengaspaine 7...8 aty - jyräysnopeus 9...10 km/h - materiaalin kivisyys < 15 % - vesipitoisuus $W = W_{opt} \pm 2\%$ -yks. - eristyskerroksen alkutiiviys $\geq 90...95\%$	30	15	1100	0,05
	KANTAVA KERROS (soveltuu hyvin)	***	- rengaspaine 7...8 aty - jyräysnopeus 9...10 km/h - vesipitoisuus $W = W_{opt} \pm 1\%$ -yks. - jakavan kerroksen tiiviys $\geq 97\%$	20	5...6	3100...3200	0,02

**SELITYKSET 1), 2) ja 3)**

- 1) Jyräskertamäärät ovat ohjeellisia (vrt. liittyvät standardit).
- 2)- Jos jyräskertamäärä poikkeaa raja-arvoista, voidaan välille sijoittuvat arvot arvioida lineaarisesti, kun olosuhteet ovat selvitettyt (pyöritys alaspin) tai määrittäm K3-kapasiteettistandardeista.
  - Kapasiteettiarvot edellyttävät, että jyrättävän alueen pituus on täryjyrillä tiivistettäessä vähintään 400 m ja kumipyöräjyrillä vähintään 200 m. Muussa tapauksessa kapasiteettiarvot pienenevät
- 3) Kustannukset sisältävät vain jyräskustannukset. Tiivistyskustannuksiin sisältyvät kastelukustannukset voidaan olettaa korkeissa laskelmissa olevan jyräskustannusten suuruiset. Yksikköhinnat ovat v. 1973 ohjevuokrien mukaiset

**MERKINNÄT**

- \*\*\* ensisijaisesti suositeltava
- \*\* soveltuva
- \* ei suositeltava

**JYRIEN VALINTA**

JYRÄ	KERROS				
	pengeri	eristys-	eristys- ja jakava	jakava	kantava
JT 05	**	*	***	**	**
JT 08	**	*	**	**	*
JK 20	** (***)	***	*	**	***

**TYÖTURVALLISUUS**

Tapaturmien välttämiseksi on mahdolliset voimansiirtoakselit suojattava (täryjyrä)  
 Meluhaittojen vähentämiseksi tulisi kuljettajan käyttää kuulosuojaimia (täryjyrä)

**JYRIEN KÄYTTÖRAJOITUKSET**

Täryjyrien käyttöä tulisi välttää asuinrakennusten läheisyydessä.

LIITTYVÄT STANDARDIT	KÄYTTÖALA	KÄYTTÖRAJOITUKSET
TVH rek.n:o 3035	- työkoehesuunnittelu	Kts. työvuorokapasiteettistandardit
TVH rek.n:o 3036	- TAS	
TVH rek.n:o 3037	- TLTS	
	- menetelmän valinta - toimintavälineen valinta	

ISBN 951-46-0800-3

74-2097/Kr335