



[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU** 69172
UTLÄGGNINGSSKRIFT

C (45) Patentti ryhdytty 10 12 1995
Patent meddelat

(51) Kv.lk./Int.Cl.⁴ E 02 D 3/12, E 01 C 3/04

SUOMI—FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patenttihakemus — Patentansökning	812355
(22) Hakemispäivä — Ansökningsdag	28.07.81
(23) Alkupäivä — Giltighetsdag	28.07.81
(41) Tullut julkiseksi — Billit offentlig	30.01.82
(44) Nähtäväksiapanon ja kuul.julkaisun pym. — Ansökan utlagd och utskriften publicerad	30.08.85
(86) Kv. hakemus — Int. ansökan	
(32)(33)(31) Pyydetty etuoikeus — Begärd prioritet	29.07.80

Saksan Liittotasavalta-Föbundsrepubliken
Tyskland(DE) P 3028670.5 Toteennäytetty-
Styrkt

- (71) becker bau GmbH & Co. KG, Segeberger Landstrasse, D-2351 Bornhoeved,
Saksan Liittotasavalta-Föbundsrepubliken Tyskland(DE)
- (72) Friedrich Kadelka, Bad Segeberg, Saksan Liittotasavalta-Föbundsrepubliken
Tyskland(DE)
- (74) Berggren Oy Ab
- (54) Menetelmä maa-alustan vahvistamiseksi - Förfarande för förstärkning
av markunderlag

(57) Tiivistelmä

Menetelmä sekä routasuojakerros maa-alustan vahvistamiseksi, jossa lujitettavaan, kosteutta sisältävään maahan, jätteeseen, tai maa/jätteenosaan sekoitetaan sementtiä ja sitten tiivistetään. Menetelmässä on uutta se, että lujitettavaan massaansa lisäksi lisätään notkistusainetta. Notkistusaineena käytetään sinänsä tunnettuja betonin notkistimia ja/tai betonin juoksevuusaineita. Betoniteknologiaan verrattuna käytetään notkistusainetta hyvin paljon suurempia määriä, so. sementtipitoisuudesta laskettuna 2,5-5 %. Menetelmän mukaan voidaan käyttää luonnollista kosteutta sisältävää maata ilman lisäkastelua. Lisäksi voidaan sementintarvetta laskea 1/3. Keksinnön mukainen menetelmä johtaa maanlujitukseen, jossa on parannetut kutistumis- tai halkeamanmuodostusominaisuudet, jolloin halkeamien muodostumiseen saakka tai halkeamien muodostuminen jää kokonaan pois, niin että esimerkiksi kadunrakennuksessa voidaan käyttää ohuempia bitumilla tai sementillä sidottuja kadunpäällysteitä. Keksinnön mukainen routasuojakerros sisältää tavallisten maan ainesosien, jätteenaineosien tai maan ja jätteen ainesosien sekoitusten ja sementin lisäksi notkistusainetta.

(57) Sammandrag

Förfarande och tjälskyddsskikt för förstärkning av markunderlaget, vari den fukttinnehållande marken som skall förstärkas, avfall eller en blandning av ~~mark~~/avfall blandas med cement och därefter görs tätare. Nytt i förfarandet är det, att det till massan som skall förstärkas ytterligare tillförs förtunningsmedel. Som förtunningsmedel används i och för sig kända betongförtunningsmedel och/eller betongfluidiseringsmedel. Jämfört med betongteknologin används förtunningsmedel i mycket större mängder, d.v.s. räknat på cementinnehållet i en mängd av 2,5 - 5 %. Enligt förfarandet kan man använda mark innehållande naturlig fukt utan tilläggsfuktning. Dessutom kan behovet av cement minskas till 1/3. Förfarandet enligt uppfinningen leder till en förstärkning av marken med förbättrade krympnings- och sprickbildningsegenskaper med ända till mikrosprickbildning reducerad sprickbildning eller total eliminering av sprickbildningen, så att man exempelvis vid gatubyggnad kan använda tunnare, med bitumen eller cement bundna gatuläggningar. Tjälskyddsskiktet enligt uppfinningen innehåller utöver vanliga markbeståndsdelar, avfallsbeståndsdelar eller blandningar av mark- och avfallsbeståndsdelar och cement förtunningsmedel.

Menetelmä maa-alustan vahvistamiseksi - Förfarande för förstärkning av markunderlag

Tämä keksintö koskee maanlujitusmenetelmää, jossa lujitettavaan, kosteutta sisältävään maahan, arvottomaan mineraaliaineeseen eli jätteeseen tai maa-jäteseokseen sekoitetaan sementtiä ja betonin lisäainetta ja sitten tiivistetään.

Rakennettaessa katuja ja rautatielinjoja vahvistetaan tavallisesti alusta tai jakava kerros ennen kadun pintakerroksen sijoittamista taikka rautatienrakennuksen sepelikerroksen sijoittamista. Tämä tapahtuu nykyisin maanlujituksena tunnetulla menetelmällä, jolla mitä erilaisimmat maapohjat (kuohkeat massat), kuten esimerkiksi standardin DIN 18196 mukaiset maat, pölymäiset mineraaliaineet tai näiden seokset sekoitetaan veden ja sementin kanssa, esimerkiksi maanjyrsimillä tai sekoituslaitoksissa ja sitten tiivistetään jyräämällä, esimerkiksi kumipyörävalsisseilla. Maanlujitusmassan sisältämän sementin kovettumisella tulevat maanlujitusmassan yksittäiset jyvät yhdistetyiksi lujaksi, kitatuksi rungoksi. Kun betonissa sementtikivi käytännöllisesti katsoen täydellisesti ympäröi jyväsiä, kittaa se maanlujituksessa jyvät vain yksittäisissä pisteissä. Tämä johtuu siitä, että betonissa yleensä pyritään hyvin paljon suurempiin puristuslujuuksiin ja sen mukaisesti käytetään enemmän sementtiä kuin mitä on tarpeen maanlujituksessa, jossa maapohjasta riippuen riittää 80-220 kg sementtiä kuutiometriä kohden (vastaten 4-16 % sementtiä).

Edellä mainituilla, pölymäisillä mineraaliaineilla eli arvottomilla mineraaleilla, joita seuraavassa ja patenttiväätimyksissä lyhyiden vuoksi nimitetään jätteiksi, tarkoitetaan luonnollisia ja keinotekoisia mineraaliaineita kuten lentotuhkia, polttojätteitä, muita pölymäisiä tai hienoa hiekkaa sisältäviä jätteitä kuivatus-, kostutus- ja sähköpölynpoistolaitoksista,

hiesu- ja savipitoisia pesujätteitä soran ja louheen pesu-
laitoksista, hiontaprosessien jätteaineita ja kaikenlaisia
muuta hienojakoisia epäorgaanisia ja orgaanisia jätteitä.

Johtuen erilaisista päämääristä ja erilaisista lisätyistä
aineista on maanlujittamisella sementin avulla ja betonin-
valmistuksella perustavaa laatua olevia teknologisia eroja.
Kun betonissa (sementtibetonissa) aina edellytetään käytän-
nöllisesti katsoen täydellistä tiivistystä, niin että yksit-
täisten sora- ja hiekkajyvästen väliset ontot tilat lähes
täydellisesti on täytetty sementtiliimalla, ei maanlujituk-
sessa ole pyrittävä käytännöllisesti katsoen täydelliseen
tiivistykseen. Hyvyyden määrääjänä on sen vuoksi betonissa
(paitsi sementin hyvyyttä) vain sementtiliima, so. vesise-
mentti ja siihen liittyvä kovetetun sementtikiven huokoi-
suus. Sitä vastoin ei maanlujituksessa voida asettaa mi-
tään erityisiä, onttojen tilojen minimiin tähtääviä vaati-
muksia. Myös hyvällä tiivistyksellä jää maanlujituksessa
sen vuoksi jyväsrunkoon enemmän onttoja tiloja kuin betonis-
sa. Kun betonissa tavallisesti pyritään jäännöshuokospitoi-
suuteen noin 2,0 tilavuusprosenttia tai vähemmän ja vain poik-
keustapauksissa, kuten katubetonissa kokonaishuokospitoi-
suuteen noin 4 tilavuusprosenttia, on huokosten osuus maan-
lujituksessa 10-20 kertaa suurempi, so. mineraalionttotila
sementillä tapahtuvassa maanlujituksessa vaihtelee laajalla
alueella välillä noin 20-40 tilavuusprosenttia.

Koostumusten valmistaminen maanlujitukseen sementillä tapah-
tuu sen vuoksi betonivalmistukseen verrattuna toisin perus-
tein, nimittäin maapohjamekaniikkaan perustuen. Tämän läh-
tökohtana on järjestelmä kiinteäaineista sekä vedestä ja il-
masta huokosina. Periaatteellisesti pyritään mineraali-
neiden mahdollisimman tiiviiseen kerrostukseen. Tämän
mukaisesti ovat sementillä tapahtuvan maanlujituksen laa-
dulle olennaisia määrityssuureita vesipitoisuus, sementtipi-
toisuus ja tiivistyksen määrä.

Sementillä tapahtuvassa maanlujituksessa voidaan käyttää jokaista luonnossa esiintyvää maapohjaa, joka voidaan murskata tarpeellisessa määrin, joka ei sisällä kovettumista häiritseviä aineita ja joka on sekoitettavissa sementin (hydrofobioitu tai ei) ja veden sekä mahdollisesti sopivien lisäaineiden kanssa. Veden ja sementin suhde ei tässä ole missään betoniteknologian kaltaisessa vesisementtisuhteessa. Tämän johdosta ei ole olemassa mitään mahdollisuutta laskea "päämäärävarmasti" määrättyjä lujuusominaisuuksia sementin avulla suoritettulle maanlujitukselle.

Kuten edellä jo mainittiin, voidaan maanlujitus toteuttaa myös lisäämällä jätettä taikka, kuten jo on kokeellisesti suoritettu, käyttämällä pelkästään jätettä, kuten lentotuhkaa. Tällöin pätevät samoin olennaisesti edellä mainitut seikat.

Lujitetuissa maa-sementti-seoksissa vaikuttaa vesi "voiteluaineena". Tämän mukaisesti on jokaista maata, jätettä tai maa/jäteseosta vast. jokaista maa-sementti-seosta, maa-jätesementtiseosta tai jäte-sementti-seosta varten edellä mainittujen periaatteiden puitteissa olemassa ns. "optimaalinen vesipitoisuus", joka määritetään ns. Proctor-kokeessa (ks. DIN 18127, Proctorkoe, ohjeen julkaisija Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen).

Vesivaatimus maanlujituksessa määräytyy siis "optimaalisen vesipitoisuuden" mukaan, joka - kuten on kuvattu edellä mainitussa ohjelehdessä - on määritettävissä maapohjamekaniikan sääntöjen mukaan. Tätä optimaalista vesipitoisuutta vastavaan kuiva-ainetiheyteen (Proctortiheyteen) on pyrittävä myös rakennustoteutuksessa, edellyttäen, että Proctor-kokeen tulos siihen liittyvine koeylinterin valmistuksineen tarpeellisen tai sopivan sementtipitoisuuden määrittämiseksi vahvistaa välttämättömän puristuslujuuden saavuttamisen.

Proctor-kokeessa muodostetut koekappaleet tutkitaan seitsemäntenä ja/tai kahdentenakymmenentenä kahdeksantena päivänä niiden valmistuksen jälkeen puristuslujuuden suhteen (ks. TVV 74, Bundesminister für Verkehr, Abt. Strassenbau). Tällöin nousee lujuus likimäärin suoraviivaisessa suhteessa sementtipitoisuuden nousun kanssa. Interpolaatiolla päätellään saavutetusta puristuslujuudesta kysymyksessä oleva sementtitarve (vrt. Beton 19 (1969), ss. 19-24).

Suhdetta lujuusominaisuuksien ja vesisementtiarvon välillä kuten betonissa ei ole olemassa maanlujituksessa. Ns. "optimaalista tiivistystä" kuten betonissa ei myöskään ole maanlujituksessa, sillä tiivistysaste määräytyy kulloinkin samasta mitasta määritetystä "Proctortiheydestä".

Vaikka maanlujitus sementillä antaa huomattavan parannuksen alustan ominaisuuksiin, erityisesti roudankestävyyteen kadun- ja rautatienrakennuksessa, on tällä menettelytavalla kuitenkin erilaisia varjopuolia. Kun lisätään vierasta vettä lujitusmateriaalin oman vesipitoisuuden lisäksi rakennuspaikalla, ovat lisämenettelyvaiheet tarpeen ja kustannukset kohoa-
vat. Edelleen esiintyy sellaisessa maanlujituksessa tai routasuojakerroksissa niiden kovettuessa, kutistumisen johdosta ns. makrohalkeamia. Nämä tekevät tarpeelliseksi sen, että täytyy käyttää esimerkiksi suhteellisen paksuja bitumilla tai sementillä sidottuja kadunpäällysteitä, jotta vältettäisiin makrohalkeamien heijastuminen päällysteeseen. On olemassa suuri tarve sellaisen menetelmän aikaansaamiseksi maanlujitukseen, joka olisi toteutettavissa yksinkertaisemmin ja huokeammin kuin aikaisemmat ja joka samalla johtaisi yhtä hyviin ja mahdollisesti parannettuihin ominaisuuksiin roudankestävyyden, kantokyvyn ja halkeamarakenteen suhteen. Tällöin on erityisen toivottavaa makrohalkeamien välttäminen, koska tällöin olisi kadunrakennuksessa mahdollista käyttää ohuempia bitumi- tai sementtisiidoksia päällysteitä, mikä ottaen huomioon maaöljyn niukkuuden ja kohoavan hinnan on tulevaisuudessa yhä välttämättömämpää.

Tämän mukaisesti on keksinnön lähtökohtana tehtävä saada aikaan menetelmä maan lujittamiseksi ja sen mukaisesti valmistetut routasuojakerrokset, erityisesti kadun- ja rautatienrakennusta varten, joka menetelmä verrattuna tunnettuihin maanlujitusmenetelmiin sementin avulla on toteutettavissa yksinkertaisemmalla tavalla ja mahdollisesti käyttämällä vähäisempiä sementti- ja vesimääriä. Tämän lisäksi tulisi keksinnön mukaisen menetelmän johtaa vähentyneeseen makrohalkeamien muodostumiseen, niin että esimerkiksi kadunrakennuksessa voitaisiin käyttää ohuempia bitumilla tai sementillä sidottuja katupäälysteitä.

Keksinnön kohteena on sen vuoksi edellä esitetyn määritelmän mukainen maanlujitusmenetelmä jolle keksinnön mukaan on tunnusomaista, että betonin lisäaineena käytetään betoninnotkistinta ja/tai betonin juoksevuusainetta määrässä joka kuiva-aineena laskettuna on 2,5 - 5 %, edullisesti 3 - 4,5 % sementin painosta.

Keksinnön edullisen suoritusmuodon kohteena on edellä mainittua laatua oleva menetelmä, jolle on tunnusomaista, että käytetään luonnollista kosteutta sisältävää maata eikä sen kosteuspitoisuutta nosteta.

On tunnettua betoninvalmistuksessa käyttää lisäaineita, kuten betonin notkistinta, betonin nopeutinta, ilmahuokosten muodostinta, tiivistysainetta, betonin hidastinta ja injektoinnin apuainetta sekä lisäaineita, kuten mineraaliaineita, orgaanisia aineita ja väriaineita. Maanlujituksessa ei kuitenkaan tähän asti ole käytetty sellaisia lisäaineita lukuunottamatta mineraalisia aineita (jätettä). Nyt on yllättäen keksitty, että notkistusaineiden kuten betonin notkistimien ja/tai betonin juoksevuusaineiden käyttäminen myös maanlujituksessa johtaa edullisiin tuloksiin huolimatta täysin toisenlaisista olosuhteista. Niinpä voidaan esimerkiksi muuttumattomalla sementtipitoisuudella jättää pois vieraan veden lisääminen, so. lujitettavan aineen oma kosteus on riittävä. Tämä lisäksi

johtaa notkistusaineiden lisääminen suurempiin puristuslujuuksiin, niin että on mahdollista olennaisesti laskea sementtiosuutta. Vesi- ja sementtipitoisuuden pienentämisestä on jälleen seurauksena vähemmän halkeamia lujitetussa massassa, niin että samalla tai korotetulla puristuslujuudella ei enää esiinny makrohalkeamia kuten tähän asti oli tavallista. Pikemminkin on keksinnön mukaisissa maanlujituksissa enää otettava huomioon vain mikrohalkeamien esiintyminen. Toisin kuin tähänastisessa maanlujituksessa sementillä tekee tämä mahdolliseksi käyttää myös ohuempia bitumilaa tai sementillä sidottuja kadunpäällysteitä, mikä itse maanvahvistuksen säästöjen lisäksi johtaa edelleen kustannusten alenemiseen kadunrakennuksessa.

Betonin notkistimia (juoksevuusaineita, plastisointiaineita) on joitakin vuosikymmeniä sitten kehitetty ensi sijassa Saksassa ja Sveitsissä. Niiden tehtävänä on muuttaa jäykkä tuorebetoni ilman suurehkoja vesilisäyksiä plastiseksi tuorebetoniksi. Ennen betonin notkistusaineiden käyttämistä oli tavallista saada plastisempaa betonia suuremmalla sementtiliimamäärällä, so. suuremmalla sementtilisäyksellä yhdistettynä suurempaan vesipitoisuuteen. Jo joitakin vuosia on sen lisäksi ollut olemassa betonin juoksevuusaineita, jotka vaikutukseltaan edustavat supernotkistimia.

Maanlujituksessa samoin käytettävät jätteaineet korottavat nykyisen teknologisen tietämyksen mukaan maanlujituksen tuoretilassa, saavutetun tiivistyksen jälkeen, tuoreen kantokeroksen näkyvää koheesiota. Lisäksi ovat tietyt mineraaliset hienoaineet latenttihydraulisia, so. ne tiettyyn asteeseen saakka johtuen stimuloinnista portland-sementti-klinkeriosilla ottavat osaa kovettumiskäyttäytymiseen, so. on mahdollista vähentää sementtiä järjestelmän "halkeamia edistävänä" ainesosana.

Notkistimina ja juoksevuusaineina betoninvalmistuksessa toimivat tekniikan tason mukaisesti olennaisesti seuraavat aineet:

1. Preparaatit sulfiittijäteliipeästä (ligniinisulfohapot tai näiden suolat),
2. hiili- ja oksihiilihapot sekä näiden suolat, näiden yhdisteiden ja detergenttien derivaatit,
3. tietyt silikonit,
4. sulfonoidut melamiini-formaldehydi-kondensaatiotuotteet (supernotkistimet),
5. kondensaatiotuotteet naftaliinisulfonihaposta ja formaldehydistä,
6. preparaatit sokerilajeista, jotka johtuen niiden kovetustapahtumaa hidastavasta vaikutuksesta mahdollisesti yhdistetään kalsiumkloridiin,
7. naftaliinin kanssa analogiset kondensaatiotuotteet antraseeneista,
8. sulfonoitu fenoliformaldehydikondensaatti ja
9. kohdissa 1-8 mainittujen aineiden yhdistelmät.

(Mainittujen aineiden sulfoniryhmiä sisältäviä yhdisteitä on tavallisesti kaupassa tarjolla niiden natriumsuolojen muodossa ja niitä myös käytetään tässä muodossa.)

Käytännössä käytetään betoninvalmistukseen betonin notkistusliuoksia sementtiosuudesta laskettuna 0,2 % - maksimaalisesti 1,5 %. Tällöin on väistämättömästi kysymys rajoitetusta liukoisuudesta yleensä 20-30 prosenttisiksi liuoksiksi. Näiden lisäaineiden suuremmista määristä ei yleensä ole mitään lisäetuja, vaan ne johtavat liian voimakkaaseen juoksevuteen, ilman poistumiseen katubetoneista ja ei-toivottavan pitkään kovettumishidastukseen. Saksassa on betonin juoksevuusaineiden käyttämisen ohjeena sementtibetonissa normi DIN 1045.

Vaikka on oletettavissa, että sementin "klinkkerifaasit" maanlujituksessa sementillä samoin kuin betoninvalmistuksessa tulevat vuorovaikutukseen veden kanssa, on maanlujituksessa betoniin verrattuna joitakin painavia eroja. Kun

lisäseokset A, B, C normin DIN 1045 mukaan osoittavat pintoja noin $0,8-4,6 \text{ m}^2/\text{kg}$, kulkevat seulontakäyrät lujitettavalle hiekalle ja maalle suurella etäisyydellä betoni-seulontakäyristä hieno...keskijyväkoalueella. Ominaispinta on arvioitava vain likimäärin noin $10,0 \text{ m}^2/\text{kg}$. Johtuen maanlujituksessa sementtiliiman (sementti + vesi + huokokset) paljon vähäisemmästä tilavuusosuudesta, on maanlujituksessa käytetyn sementtiliimamäärän yläpinta paljon suurempi kuin vastaava pinta betonissa. Tästä on seurauksena jo aikaisemmin mainittu suuri huokostilavuus maanlujitusmassoissa. Edelleen on maanlujituksen suhteellisen vähäisestä sementtiliimamäärästä seurauksena se, että sen jakaantuminen koko maajärjestelmään ei voi olla jatkuva. Tämä johtaa maanlujitusmassoissa "pistemäiseen maaosasten kittaukseen" sementtiliimalla. Johtuen dispersioaineen veden puutteesta kantoaineena sementille dispergoituneeksi faasiksi muodostuvat sementtijyväsryhmät lukuisiksi jyväspakkauspisteiksi. Johtuen sementtijyvästen yhteenkasaantumisesta suuremmiksi ryhmiksi tapahtuu suuremman sementtipakkaantumisen läpihydraatio yhä tiheämmäksi tulevalla geelinmuodostuksella ja tilavuuden suurenemisella jatkuvasti hitaammin, kuitenkin yhä etenevästi. Tämä on yhtenä perustana usein moititulle myöhäislujuudelle pitempien aikavälien jälkeen.

Nyt on yllättäen keksitty, että käyttämällä betonin notkistusaineita ja/tai betonin juoksevuusaineita maanlujitusmassoissa voidaan vesiosuus vähentää noin 70 litraa/m^3 ja kuitenkin saada riittävästi tiivistämiskelpoinen rakenneaine, vaikka aikaisemmissa maanlujitusmassoissa paljon suurempaa pintaa (verrattuna betoniin) varten käytettävissä on olennaisesti pienempi sementtiliimamäärä ja vähäinen vesipitoisuus ei enää varmista juoksevan faasin jatkuvuutta maanlujitusrakenneaineseoksen sisällä. On otaksuttava, että tämä ilmiö perustuu siihen, että notkistus- tai juoksevuusaineet eivät ainoastaan aiheuta dispergoivaa vaikutusta sementtiosasiin vaan niiden vaikutus laajenee myös betonin hienoimpiin ainesosiin.

Toteutetut kehitystyöt ovat osoittaneet, että on mahdollista veden säästäminen aina 50 % laskettuna "optimaalisesta vesipitoisuudesta". Yllättävästi saavutetaan kuitenkin käyttökelpoisia tuloksia vasta hyvin paljon suuremmilla notkistusainekonsentraatioilla kuin betoninvalmistuksessa on tavallista. Sopiviksi ovat osoittautuneet - laskettuna sementtipitoisuudesta - määrät 2,5-5 % ja edullisesti 3-4,5 % kuiva-ainetta pulverimuodossa.

Maanlujitukseen sopivat betoninnotkistimet ja betonin juoksevuusaineet voidaan lisätä kuiva-aineena, so. pulverimuodossa. Sitä vastoin saadaan juoksubetonin valmistukseen DIN 1045 mukaan käyttää vain juoksevia betonin juoksevuusaineita. Notkistimet ja juoksevuusaineet voivat tulla lisätyiksi myös juoksevassa muodossa, jolloin on käytettävä sellaisia määriä, että saadaan edellä annetut, kuiva-aineesta lasketut konsentraatiot. Ne voidaan juoksevassa muodossa ennen sementtilisäystä ruiskuttaa maapohjalle taikka sijoittaa sekoittimeen tai pulverimuodossa yhdessä tai erikseen sementin sirotuslaitteiden avulla sirotella maapohjalle taikka antaa sekoittimeen tai myös ennen sijoittamista lujitettavalle maalle perusteellisesti sekoittaa sementin kanssa.

Sopivaksi aineeksi notkistamista varten on kokeissa osoittautunut erityisesti sulfonoitu naftaliiniformaldehydikondensaatti. Muita käyttökelpoisia notkistusaineita voidaan vain silloin käyttää käytännössä, kun mitään tähän asti todettuja kovettumishaittoja eikä tilavuusmuutoksia (paisumista) enää esiinny. Tässä yhteydessä on erityisesti kaupan olevien betoninotkistimien ja betonin juoksevuusainesten usein korkea sokeripitoisuus tullut negatiivisesti merkittäväksi (ks. jäljempää).

Mahdollisuudella veden säästämiseen noin 50 % on suuria taloudellisia ja teknillisiä etuja. Taloudelliset edut perustuvat siihen, että useimmat maanlujitukseen valmistetut katu- ja teiden raakatasot eivät enää tarvitse mitään esikastelua. Kastelulaitteiden valmiinapitamisesta voidaan siten

luopua. Suurena teknillisenä etuna on se, että johtuen voimakkaasti alennetuista kosteusmääristä tulevat myös kutistumis- ja halkeamanmuodostus samoin voimakkaasti vähennetyiksi. Jo esitetyistä kirjallisuusviittauksista on tunnettua, että halkeamanmuodostukseen maanlujituslaitoksissa vain vähäisessä määrin vaikuttaa suurempi puristuslujuus. Paljon suuremmassa määrin syntyvät halkeamat kutistumisen johdosta perustuen hienojyväisen massan kapillariteettiin. Keksinnön mukaisessa maanlujituksessa on kutistushalkeamien muodostuminen voimakkaasti vähennetty mikrohalkeaman muodostukseen saakka tai jää kokonaan pois, koska siinä onnistutaan voimakkaammin alentamaan teknillisesti normaalisti välttämätöntä vesikyllästysarvoa.

Edelleen saavutetaan keksinnön mukaisella notkistusaineiden käyttämisellä suurempia puristuslujuuksia. Keksinnön mukaisesti saavutettavista suuremmista puristuslujuuksista on taas seurauksena taloudellinen lisäetu sillä tavoin, että normaalitapaukseen verrattuna on lujuutta menettämättä mahdollista sementin säästö.

Maanlujituksessa käytettävistä jäteaineista tulee tulevaisuudessa saamaan suuren merkityksen erityisesti lentotuhka, koska sitä tulee suuria määriä ja sitä on tähän asti voitu ottaa mielekkääseen käyttöön vain vähäisessä määrin. Keksinnön puitteissa suoritettut kokeet ovat kuitenkin osoittaneet, että lentotuhkan korvausmahdollisuudet maanlujituksessa voimakkaasti riippuvat sen ominaisuuksista. Sopivaksi arvosteluperusteeksi on tähänastisissa kokeissa osoittautunut hehkutushäviöiden suuruus.

Parhaiten sopivaa keksinnön mukaiseen menetelmään on pienimmän hehkutushäviön omaava lentotuhka (lentotuhka 1, jonka hehkutushäviö on enintään 5 painoprosenttia), jota voidaan käyttää yksinään tai mielivaltaisessa suhteessa maahan sekoitettuna. Sopivat määrät lentotuhkaa sekoituksina maan kanssa ovat 30-70 % ja erityisesti noin 50 %. Lentotuhka, jolla on suurempi hehkutushäviö (lentotuhka 2, jonka hehkutushäviö

on 5-8 painoprosenttia) on vain poikkeustapauksissa yksinään käytettävissä maanlujitukseen. Tavallisesti voidaan sellaisia lentotuhkia kuitenkin aina 60 % määrään saakka, edullisesti 40-50 % lisätä lujitettavaan maahan. Myöskään lentotuhka, jolla on suuri hehkutushäviö (lentotuhka 3, jonka hehkutushäviö on yli 10 paino-%, esim. aina 40 painoprosenttiin saakka ja ylikin), ei yksinään sovellu maanlujitukseen, mutta sitä voidaan lisätä lujitettavaan maahan aina 20 % määriin saakka. Tässä yhteydessä viitattakoon kuitenkin siihen, että edellä mainitut eri lentotuhkien määrät on kytketty siihen, että valmistettavalle maanlujitukselle riittävät TVV 74 vaatimukset. Jos maanlujitukselle asetetaan suurempia tai pienempiä vaatimuksia, silloin muuttuvat erityisesti niiden lentotuhkien mahdolliset käyttömäärät, joilla on suuremmat ja suuret hehkutushäviöt.

Suoritusmuodot selityksessä ja seuraavissa esimerkeissä ovat olennaisesti kytketyt TVV 74 annettuihin vaatimuksiin. Luonnollisesti ei keksinnön mukainen menetelmä kuitenkaan ole rajoitettu näiden vaatimusten täyttämiseen, vaan keskitason ammattimies voi halunsa mukaan sovittaa keksinnön mukaisen menetelmän mainituista vaatimuksista poikkeaviin vaatimuksiin.

Esimerkki 1

Tiettyjä maapohjia tutkittiin sementtipitoisuudella 7 % aluksi normaalisti Proctorin mukaan. Tätä varten kuivatettiin näytemaita useita päiviä. Tämän jälkeen alkoi koe Proctorin mukaan vesipitoisuudesta noin 1,0-1,5 %. Vesipitoisuutta nostettiin portaittain kulloinkin 1,5 % kunnes on tultu ohi optimaalisen pisteen. Lopullinen vesipitoisuus oli 10,5 %. Siten yli 7 kosteusportaan suoritettu Proctorkoe antoi edustavalle maalle (routavarma hiekka SE normien DIN 18 196 ja ZTVE-StB 76 mukaan) Proctor-arvon $1,87 \text{ g/m}^3$ ja optimaalisen vesipitoisuuden 9,0 %.

Samalla maamateriaalilla suoritettiin sen jälkeen Proctor-kokeet samoin kosteusportain kuitenkin lisäämällä notkistimia ja juoksevuusaineita pulverimuodossa annoksina välillä 2,5 % ja 5,0 %, laskettuna näytteen sementtipitoisuudesta. Havaittiin, että jo vesipitoisuus välillä 3,0 ja 4,5 % antoi kuivatilatiheyksiä, jotka ovat lähellä 100 % Proctor-tiheyttä (normaalitapaus). Vesipitoisuuksilla yli 4,5 % osoittivat nämä aineet Proctor-tiheyksiä paljon yli 100 %.

Tämän jälkeen suoritettut puristuslujuuskokeet Proctor-sylintereillä antoivat suurempia lujuuksia kuin normaalit maanlujitusmassat, so. ilman notkistimien lisääystä valmistettut maanlujitusmassat.

Esimerkki 2

Tutkittiin Proctorin mukaan hiekkaa (hiekanotto suokanava; routasuojahiekka SE DIN 18 196 mukaan, maa Fl) lisäämällä 7 % sementtiä ja 2,5 % notkistinta, laskettuna sementtipitoisuudesta. Saatiin kuviossa 1 kuvatut Proctor-käyrät.

Notkistimena oli kysymys ligniinisulfonaatista. Valmistajan annostussuositus (ajateltu betonille) ylitettiin kymmenkertaisesti. Kuten nähdään kuviossa 1 annetuista Proctor-käyristä, havaittiin selvä nousu kuivatihydessä.

Koekappaleissa, joissa oli 5 % notkistinta, laskettuna sementistä, havaittiin myös hyvä notkistamisvaikutus. Johtuen käytetyn ligniinisulfonaatin hyvin suuresta sokeripitoisuudesta ja tähän liittyvästä kovettumishidastuksesta ei tosin 7 päivän kuluttua saatu mitään käyttökelpoisia puristuslujuusarvoja.

Esimerkki 3

Esimerkin 2 mukainen koe toistettiin käyttämällä kahta muuta notkistusainetta. Notkistusaine B koostui ligniinisulfonaattien ja melamiini-formaldehydi-kondensaattien yhdistelmästä.

Notkistusaine C koostui ligniinisulfonaattien ja naftaliinisulfonaattiformaldehydikondensaattien yhdistelmästä. Molempia notkistusaineita käytettiin määrät 2,5 ja 5 % sementtimäärästä laskettuna. Saadut kuivatiheydet Proctorin mukaan on annettu kuvioissa 2 ja 3.

Havaittu notkistamisefekti oli sangen hyvä (vrt. kuvioita 2 ja 3). Ligniinisulfonaattien suuren sokeripitoisuuden vuoksi olivat saadut puristuslujuusarvot vain osittain tyydyttävät.

Esimerkki 4

Esimerkin 2 mukainen koe toistettiin käyttämällä kaupasta saatavana olevaa sulfonoitua naftaliiniformaldehydikondensaattia sen natriumsuolan muodossa (notkistin A) notkistusaineena. Notkistusainetta käytettiin 1,5, 2,5 ja 5,0 % sementtimäärästä laskettuna. Saadut Proctor-käyrät on annettu kuviossa 4.

Tulokset osoittavat, että jo vesipitoisuudella 3-4,5 % saadaan maanlujitukselle tarpeellinen vähimmäistiivistys 98 % normaalista Proctor-tiheydestä.

Tutkimus koekappaleilla, joiden vesipitoisuus oli 4,5 %, antoi noin 1/3 korkeammat puristuslujuusarvot (7 päivän kuluttua) kuin vastaava koekappale ilman notkistimen lisäämistä. Tämä osoittaa, että käytettäessä notkistimia voidaan sementtipitoisuutta "normaaliin" sementillä tapahtuvaan maanlujitukseen verrattuna alentaa noin 1/3 (ks. esim. 6).

Esimerkki 5

Edellä annetussa selityksessä on moneen kertaan korostettu, että betoni valmistetaan hyvin pienellä jäännöshuokososuudella, kun taas maanlujituksessa huokososuus on 10-20-kertainen betoniin verrattuna. Kirjallisuus ja nyt tehdyt tutkimukset osoittavat, että maanlujitusta voidaan pitää routavarmana,

kun rakenneosassa on saavutettu puristuslujuus $2,5 \text{ N/mm}^2$. Tämä betoniin verrattuna huomattavan alhainen vähimmäispuristuslujuus perustuu siihen, että vedessä varastoitaessaan maanlujitusaineen koekappale ei ota läheskään niitä vesimääriä, joita se huokostilavuutensa perusteella voisi ottaa. Siten on käytettävissä jäänmuodostukseen riittävä huokostilavuus sitä tilavuuden muutosta varten, kun vesi muuttuu jääksi (plus 9 %).

Tarkoituksella tutkia roudan vaikutusta koekappaleisiin routa-kaste-vaihteluissa esimerkeissä 3 ja 4 kuvatuilla notkistus- ja juoksevuusaineannostuksilla, valmistettiin Proctor-koesylintereitä, joissa oli 7 % pectacete-sementtiä. Kun koesylintereillä 7 päivän kuluttua oli puristuslujuus noin 5 N/mm^2 , alkoivat kokeet ohjelehden "Merkblatt für eignungsprüfungen bei Bodenverfestigung mit Zement, Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe Untergrund-Unterbau, Ausgabe 1975, Absatz 4.4.3-Frostprüfung" mukaisesti. Muutoksena kohtaan 4.4.3 ei määritetty pituudenmuutoksen mitta-arvoa vain ensimmäisen ja kahdennentoista routavaikutuksen jälkeen vaan pituudenmuutos määritettiin jokaisen routavaikutuksen jälkeen, jotta siten paremmin saataisiin näkyviin routimisnousujen kehityskulku. 12:n routa-kaste-vaihtelun jälkeen keskeytettiin kokeet ja mittausarvot esitettiin graafisesti (ks. kuvio 5).

Koekappaleet sisälsivät sementistä laskettuna 2,5 % notkeutinta A, B tai C. Proctor-sylinterin korkeus oli 12 cm. Saluttu pituudenmuutos kahdennentoista routa-kaste-vaihtelun jälkeen on maksimaalisesti 1 o/oo. 1 o/oo 12 cm:stä on 0,12 mm.

Edelleen määritettiin koesylintereiden puristuslujuus 7 ja 28 päivän jälkeen sekä routa-kaste-vaihtelun päätyttyä. Tulokset on koottu seuraavaan taulukkoon.

<u>Puristuslujuus, N/mm²</u>	<u>Notkistin A</u>	<u>Notkistin B</u>	<u>Notkistin C</u>
7 päivän jälkeen (ilman routaa)	5,9	2,3	5,5
28 päivän jälkeen (ilman routaa)	9,9	8,6	6,2
12:n routa-kaste- vaihtelun jälkeen	7,2	2,9	2,9

Saadut tulokset osoittavat, että kaikkia kolme notkistusainetta käytettäessä saatiin käyttökelpoisia puristuslujuusarvoja. Mitä tulee pituudenmuutokseen 12 routa-kaste-vaihtelun jälkeen antoi vain notkistin A vaaditun pituudenmuutoksen alle 1 o/oo, nimittäin pituudenmuutoksen alle 0,1 mm. Kuten myös käy ilmi puristuslujuusarvoista käytettäessä notkistimia B ja C, tulee notkistimien B ja C suuri sokeripitoisuus negatiivisesti havaittavaksi myös routa-kaste-vaihtelukokeissa.

Esimerkki 6

Esimerkissä 4 viitattiin siihen, että notkistimen lisääminen joutaa noin 1/3 suurempiin puristuslujuusarvoihin, niin että notkistinta käytettäessä sementtipitoisuutta voidaan alentaa noin 1/3 verrattuna "normaaliin" maanlujitukseen sementillä. Tämän osoittamiseksi tutkittiin huuhteluhiekkaa "SE" DIN 18 196 ja ZTV StB 76 mukaan Proctorin mukaisesti. Tällöin muutettiin aluksi sementtipitoisuutta vakiovesipitoisuudella 4,5 %. Sementtipitoisuudella 4,6 % havaittiin Proctorin mukaan kuivatiheys 1,840 ja puristuslujuus seitsemän päivän jälkeen 2,4 N/mm², kun taas sementtipitoisuudella 7,0 % kuivatiheys Proctorin mukaan oli 1,871 ja puristuslujuus seitsemän päivän jälkeen 4,5 N/mm². Nämä tulokset vahvistavat edellä esitetyn toteamuksen, että lujuuden nousu on likimain suoraviivaisessa suhteessa sementtipitoisuuden nousuun.

Edelleen tutkittiin koekappaleita, joiden vesipitoisuus oli 4,5 %, sementtipitoisuus 4,6 % ja jotka sisälsivät notkistinta A 3 % sementtimäärästä laskettuna. Havaittiin kuivatilatiheys 1,898 ja puristuslujuus seitsemän päivän jälkeen $4,4 \text{ N/mm}^2$. Tämä osoittaa, että notkistimen lisääminen tosiasiallisesti tekee mahdolliseksi noin 1/3 sementin säästämisen ilman, että puristuslujuus huononee.

Suoritettujen kokeiden puitteissa tutkittiin myös koekappaleita, jotka vesipitoisuudella 4,5 % sisälsivät vain annetut määrät notkistinta A mutta ei lainkaan sementtiä. Osoittautui, että jo pelkästään notkistimen A lisääminen antoi paremman tiivistyksen, so. korkeammat kuivatilatiheydet Proctor-kokeessa. Tämä vahvistaa sen, että notkistusaineella on dispergoiva vaikutus ei ainoastaan sementtiosasiin vaan myös maan hienoiimpiin osasiin (vrt. edellä).

Esimerkki 7

Suoritettiin useita koesarjoja pesemättömällä hiekalla 0/8 mm (hiekk SE normin DIN 18 196 mukaan) lisäämällä lentotuhkia 1, 2 ja 3, jotka edellä aikaisemmin on selitetty. Lentotuhka 1, jossa on vähäinen hehkutushäviö, oli peräisin hiilivoimalaitoksesta Kiel-Ost, lentotuhka 2, jolla on suurempi hehkutushäviö, hiilivoimalaitoksesta Wedel ja lentotuhka 3, jolla on suuri hehkutushäviö, hiilivoimalaitoksista Tiefstaak ja Neuhoof, Hamburg. Otettiin Proctor-käyrät eri koostumuksille.

Koe A: Otettiin Proctor-käyrä hiekalle lisättynä 4 paino-osalla sementtiä 100 paino-osaa hiekkaa kohti. Tällöin oli maksimaalinen kuivatiheys 1,919.

Koe B: Otettiin Proctor-käyrät koostumukselle, jossa oli 100 paino-osaa hiekkaa, 2 paino-osaa sementtiä ja 4 paino-osaa lentotuhkaa. Kokeet suoritettiin ilman notkistusaineen lisäystä ja notkistusaineen kera (3 % sementistä laskettuna). Saadut maksimaaliset kuivatihetydet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Koe C: Koe B toistettiin sillä erolla, että käytettiin 4 paino-osaa sementtiä. Saadut maksimaaliset kuivatiheydet on samoin esitetty jäljempänä olevassa taulukossa.

Koe D: Koe C toistettiin sillä erolla, että lentotuhkan osuus nostettiin 15 paino-osaan. Tulokset on samoin esitetty taulukossa jäljempänä.

Koe E: Koe D toistettiin sillä erolla, että lentotuhkan osuus nostettiin 30 paino-osaan. Tulokset on samoin esitetty taulukossa jäljempänä.

Koe F: Koe E toistettiin sillä erolla, että lentotuhkan osuus nostettiin 50 paino-osaan. Tulokset on samoin esitetty seuraavassa taulukossa.

Koe	<u>Kuivatiheydet (g/cm³)</u>					
	Lentotuhka 1		Lentotuhka 2		Lentotuhka 3	
	Ilman not- kistinta	Notkisti- men kanssa	Ilman not- kistinta	Notkisti- men kanssa	Ilman not- kistinta	Not- kisti- men kanssa
B	1,931	1,960	1,922	1,951	-	-
C	1,964	1,984	1,933	1,969	-	-
D	2,028	2,068	1,993	2,035	1,950	1,977
E	2,034	2,057	1,977	1,997	1,839	1,850
F	1,962	2,000	1,899	-	-	-

Seoksilla lentotuhkan 1 kanssa oli pulverimaista notkistusainetta käytettäessä suurimmat kuivatiliheydet. Ilman pulverinotkistimen käyttämistä olivat tiheydet yksiselitteisesti alempia. Seoksilla lentotuhkan 2 kanssa oli olennaisesti samat kuivatiheyserot, kuitenkin liikkuvat kuivatiheydet yleensä hieman niiden kuivatiheyksien alapuolella, jotka saatiin seoksilla lentotuhkan 1 kanssa. Lentotuhka 3 suhtautuu siinä suhteessa voimakkaasti toisin kuin molemmat ensin mainitut lentotuhkat, että seoksen kuivatiheydet taloudellisesti kiintoisilla lentotuhkaosuuksilla yli 15 paino-

osaa laskevat voimakkaasti. Pienemmät kuivatiheydet ovat yhteydessä suureen huokososuuteen ja yleensä myös heikompään lujuusominaisuuksiin. Vastaavasti toteutetut Proctor-kokeet teräslevyissänpaanolla osoittivat, että jyvysten pirstoutuminen oli suurin lehtotuhkalla 3. Todettiin, että aivan yleisesti kuivatiheyden alentuessa lentotuhkaosuuden samanaikaisesti noustessa jyvysten pirstoutuminen näyttää vähenevän.

Yhteenvedona edellä esitetyistä Proctor-kokeista voidaan havaita, että lentotuhkilla, joiden palava jäännös (hehkutushäviö) on noin 3 % (lentotuhka 1), on hyvät ominaisuudet myös suurempana sekoitusosuutena, lentotuhkilla, joiden hehkutushäviö on aina noin 8 % saakka, on hieman vähemmän suotuisat ominaisuudet ja lentotuhkilla, joiden hehkutushäviöt ovat yli 10 %, on epäedullisimmat ominaisuudet kuivatiheyden kehittymisessä.

Eräillä perusresepteillä valmistettiin Proctor-sylintereitä puristuslujuuksien määrittämiseksi 7 ja 28 päivän jälkeen. Kaikissa perusresepteissä oli hiekkaosuus 100 paino-osaa ja vesiosuus 4,5 paino-osaa. Pulverinotkistinmäärä oli 3 % laskettuna sementtipitoisuudesta. Kulloinkin valmistettiin koesylinterit 3, 5 ja 7 paino-osalla sementtiä laskettuna hiekasta ja lentotuhkasta. Saatujen puristuslujuusarvojen graafisesta esityksestä riippuvaisena sementtiosuudesta määritettiin se sementtitarve, joka antaa normin TVV 74 mukaan riittävän puristuslujuuden. Käytetyissä perusresepteissä oli seuraavat määrät lentotuhkaa:

- Perusresepti A: 4 paino-osaa lentotuhkaa 1
- Perusresepti B: 4 paino-osaa lentotuhkaa 2
- Perusresepti C: 15 paino-osaa lentotuhkaa 1
- Perusresepti D: 30 paino-osaa lentotuhkaa 1
- Perusresepti E: 30 paino-osaa lentotuhkaa 3
- Perusresepti F: 15 paino-osaa lentotuhkaa 3

Perusresepti	Puristuslujuus 7 päivän jälkeen (N/mm ²)				Sementin tarve TVV 74:n mukaan, paino-osaa sementtiä
	3 paino-osaa sementtiä	5 paino-osaa sementtiä	7 paino-osaa sementtiä		

A	3,2	6,2	11,0	3,55
B	2,7	6,3	9,5	3,80
C	3,8	5,5 ¹⁾	-	3,20
D	2,9	4,4	-	4,50
E	0,8 ²⁾	1,0 ³⁾	-	- ⁴⁾
F	2,0	4,5	-	4,60

Puristuslujuus 28 päivän jälkeen (N/mm²)

A	3,9	9,9	13,8	3,72
B	3,8	8,6	11,7	3,90
C	6,2	12,6 ¹⁾	-	2,96
D	6,0	8,9	-	3,00
E	0,9 ²⁾	2,3 ³⁾	-	- ⁴⁾
F	3,0	7,9	-	4,35

69172

- 1) Sementtiosuus oli 4,35 paino-osaa
 2) Sementtiosuus oli 2,30 paino-osaa
 3) Sementtiosuus oli 3,85 paino-osaa
 4) Saadut puristuslujuudet olivat normin TVV 74 vaatimusten alapuolella

Edellisessä taulukossa esitetyt tulokset osoittavat, että asettaen pohjaksi 7 tai 28 päivän puristuslujuudet mitattuna normin TVV 74 mukaan, sementin tarpeessa esiintyy huomattavia eroja lentotuhkan osuuden kasvaessa. Tämä tekee selväksi, että lentotuhkan latenttihydrauliset ominaisuudet voivat johtaa suurempaan jälkikovettumiseen. Lentotuhka 1 vaatii sekoitusosuudella 30 paino-osaa 100 paino-osaan hiekkaa pulverinotkeutinta käytettäessä enää vain 3 paino-osaa sementtiä, so. siis vähemmän kuin noin 50 % tekniikan tason mukaan tavallisesta sementtiosuudesta. Jos kuitenkin lentotuhkaa 1 käytetään vain 4 paino-osaa 100 paino-osaa hiekkaa kohden, niin nousee sementintarve vain 3,5-3,7 paino-osaan.

Seokset, joissa on 4 paino-osaa lentotuhkaa 2, nostavat sementin tarvetta vain vähäisesti, 3,8-3,9 paino-osaan. Jopa laadullisesti huonointa lentotuhkaa, nimittäin lentotuhkaa 3, voidaan käyttää vielä 15 paino-osaa, jolloin sementin tarve nousee noin 4,5 paino-osaan. Sitä vastoin käyttäytyvät seokset, joissa on 30 paino-osaa lentotuhkaa 3, epäedullisesti, koska niissä ilmenee riittämättömät lujuusominaisuudet.

Huomionarvoisena on tuotava esiin, että kaikki sementtitarvemäärät perustuvat lujuusominaisuuksiin seoksissa, joissa maanlujitusmassassa on 4,5 paino-osaa vettä. Tämä on kauttaaltaan tärkeä edellytys, yhdessä suhteellisen vähäisen sementintarpeen kanssa, pitkälti halkeamista vapaalle maanlujituspäällystekonstruktioille.

Esimerkki 8

Tarkoituksella tutkia kalkkikivijauhon vaikutusta pölymäisenä tuotteena maanlujitusseoksen peruskoostumuksessa, suoritettiin jälleen ensin Proctor-kokeita mineraaliaineiden toisiinsa vaikuttamisen selvittämiseksi sekä kokeita käyttämällä pulverinotkistinta ja ilman notkistimen käyttämisestä. Kuten edellä, ilmeni myös tässä erilaisia Proctor-käyriä,

so. samalla reseptillä oli pulverinotkeutinta sisältävän seoksen Proctor-käyrä yläpuolella sellaisen seoksen Proctor-käyrää, jossa tätä notkeutinta ei ollut. Perusreseptillä suoritetuissa kokeissa puristuslujuuden määrittämiseksi koekappaleilla 7 ja 28 päivän jälkeen (vrt. esim. 7) saatiin samanlaiset tulokset kuin esimerkissä 7, jolloin sementintarve normin TVV 74 vaatimaa puristuslujuutta varten 7 päivän jälkeen oli 3,80 paino-osaa ja normin mukaiseen lujuteen 28 päivän jälkeen perustuen 4,14 paino-osaa. Perusreseptin mukainen koostumus muodostui 100 paino-osasta hiekkaa ja 15 paino-osasta kalkkikivijauhetta. Pulverinotkistinosaa oli vakio 3 %, sementin määrästä laskettuna. Myös tässä ilmeni huomattavasti pienempi sementintarve ja nimenomaan vesipitoisuudella noin 50 % optimaalisesta vesipitoisuudesta. Tämä valtava veden säästö on aina myös otettava huomioon arvosteltaessa kaikkia kuvattuja tuloksia.

Yhtäpitäviä kokeita suoritettiin käyttämällä kvartsikivijauhoa. Saavutettiin vastaavia tuloksia, jolloin esim. käytettäessä 15 paino-osaa kvartsikivijauhoa 100 paino-osaa hiekkaa kohden (hiekk SE, normin DIN 18196 mukaan) osoittautui sementintarve normin TVV 74 vaatimuksen mukaan 7 päivän kuluttua 3,85 paino-osaksi.

Esimerkki 9

Kuten esimerkissä 5 on selitetty, tutkittiin esimerkkien 7 ja 8 mukaisen koostumuksen omaavia koekappaleita routakaste-vuorottelumenetelmällä. Vain hiekka-lentotuhka-seokset, joiden Proctor-sylinterillä 7 päivän jälkeen oli puristuslujuudet alle $2,0-2,5 \text{ N/mm}^2$, osoittivat yli 1 o/oo ulottuvia pituudenmuutoksia. Kaikilla muilla koostumuksilla, myös niillä, joissa oli suurimmat määrät kivijauhoa, olivat pituudenmuutokset sallituissa puitteissa.

Tutkimukset kvartsijauholla edustavat kuitenkin ilmiötä, joka päinvastoin kuin kaikissa muissa kokeissa, joissa tulokset osoittivat vähäistä pituuden suurenemista, osoitti-

vat vähäistä pituuden lyhenemistä. Nämä pituuden lyhenemiset liikkuivat kuitenkin kaikki alle 1 o/oo:n (0,12 mm).

Yhteenvetona voidaan todeta, että pelkästään alkulujuus maanlujituksessa, ei kuitenkaan mineraaliaineiden osuus, voi olla syynä routavaurioihin.

Routa-kaste-vaihtelun vaikutusten tutkimiseksi tutkittiin sen jälkeen koekappaleiden puristuslujuus. Tällöin osoittautui, että millään koekappaleella ei ollut sellaista puristuslujuuden alenemista, joka viittaisi siihen, että olisi tapahtunut lujuutta vahingoittavaa roudan vaikutusta. Pikemminkin osoittivat roudan vaikutuksen jälkeen koestetut koekappaleet keskimäärin korkeampia puristuslujuustuloksia kuin normaalit 28-päivän-puristuslujuustulokset. Täten on saatu todiste siitä, että hienoimpien osasten, $< 0,06$ mm, määrän korottaminen maanlujitusmassoissa ei johda roudan vahingoittavaan vaikutukseen rakenteessa.

Esimerkki 10

Täydennyksenä edellä esitetyille esimerkeille 7-9 tutkittiin Proctor-kokeilla lentotuhkia ilman hiekkalisäyksiä. Kokeet suoritettiin aina notkeutinpulveria lisäämällä ja ilman notkeutinta. Kun lentotuhka 3 käytettäessä 6 tai 10 paino-osaa sementtiä lentotuhkan 100 paino-osaa kohden notkistimen kanssa ja ilman notkistinta antoi käytännössä käyttökelvottomia tuloksia, johti notkistinpulverin lisääminen lentotuhkaan 2 selvään nousuun kuivatiheydessä ja puristuslujuudessa. Vielä olennaisesti korkeammalla kuin lentotuhkalla 2 olivat kuivatiheydet lentotuhkalla 1. Myös tässä tapauksessa johti notkistusaineen lisääminen voimakkaaseen nousuun puristuslujuuksissa.

Näyttää siltä, että maanlujitusmassoille, jotka koostuvat vain lentotuhkasta ja sementistä, ei voida ilmaista mitään yksiselitteistä Proctor-arvoa. Kuivatiheyttä kuvaavan käyrän nousu johtaa ylimpään arvoon, joka on yhteydessä veden

poistumiseen kokeen aikana. Kaikkien kolmen lentotuhkan vertaaminen viittaa siihen, että veden tarve on sitä suurempi, mitä suurempi on hehkutushäviö.

Lentotuhkalla 1 suoritettut kokeet, joissa sementti pulverinotkistimen kera tai ilman notkistinta sekoitettiin lentotuhkaan ja sitten tapahtui veden lisääminen, osoittivat, että vesiosuudella 50 % maksimaalisesta vedentarpeesta notkistusaineen käyttäminen johti sementtitarpeen vähenemiseen noin 35-40 %. Nostettaessa vesipitoisuus maksimaaliseen vesipitoisuuteen noin 16 painoprosenttia saatiin puristuslujuudessa nousua. Tämä jälleen tekee mahdolliseksi paljon pienempien sementtimäärien käyttämisen. On kuitenkin huomattava, että halkeamien muodostumisen todennäköisyys lisääntyy mahdollisuuden mukana luovuttaa suuria määriä kosteutta maanlujituskerroksesta. Kuten jo edellisissäkin esimerkeissä määritettiin sementin tarve normin TVV 74 kriteerioiden mukaisesti.

Kaikissa kuvatuissa esimerkeissä käytettiin hydrofobista (vedenkestäväksi tehtyä) sementtiä (pectacrete-Zement, ks. DE-PS 13 00 856, 13 03 934, 16 42 380 ja 16 46 502).

Esimerkeissä 7-10 käytettiin pulverimaisena notkistusaineenä kaupassa saatavana olevaa sulfonoitua naftaliini-formaldehydikondensaattia.

Patenttivaatimukset

1. Maanlujitusmenetelmä, jossa lujitettavaan, kosteutta sisältävään maahan, arvottomaan mineraaliaineeseen eli jätteeseen tai maa jätesekokseen sekoitetaan sementtiä ja betonin lisäainetta ja sitten tiivistetään, **tunnettu siitä**, että betonin lisäaineena käytetään betoninnotkistinta ja/tai betonin juoksevuusainetta määrässä joka kuiva-aineena laskettuna on 2,5 - 5 %, edullisesti 3 - 4,5 % sementin painosta.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu siitä**, , että käytetään luonnollista kosteutta sisältävää maata eikä sen kosteuspitoisuutta nosteta.
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, **tunnettu siitä**, että betoninnotkistimena tai betonin juoksevuusaineena käytetään ligniinisulfonaatteja, sulfonoituja melamiiniformaldehydikondensaatteja, sulfonoitua naftaliiniformaldehydikondensaatteja, notkistavia silikoneja, sulfonoitua antraseeniformaldehydikondensaatteja, sulfonoitua fenoli-formaldehydikondensaatteja, hiili- ja oksihiilihappoja, näiden suoloja ja näiden yhdisteiden johdannaisia, detergenttejä tai kahden tai useamman näiden aineiden sekoituksia.
4. Patenttivaatimusten 1-3 mukainen menetelmä, **tunnettu siitä**, että käytetään 1/3 vähemmän sementtiä kuin olisi tarpeen maanlujitusaineen saman puristuslujuuden saavuttamiseksi ilman betoninnotkistimen ja/tai betonin juoksevuusaineen lisäämistä.

Patentkrav

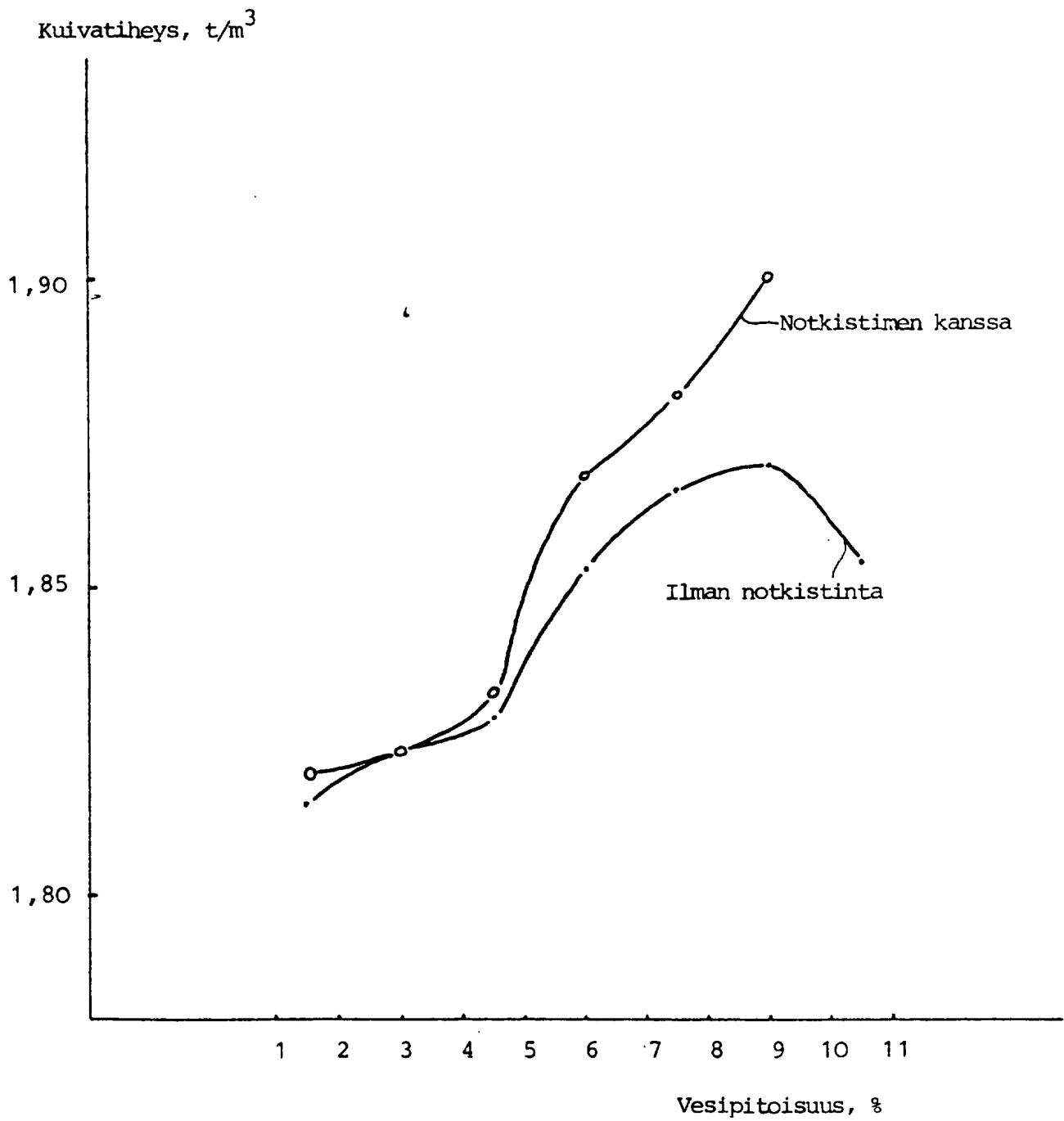
1. Markförstärkningsförfarande, i vilket den fukt innehållande marken, värdelöst mineralmaterial, kallat avfall, eller en markavtallsblandning blandas med cement och tillsatsmedel för betong och därefter tätas, **kännetecknat därav**, att det som tillsatsmedel för betong användes mjukgöringsmedel och/eller rinnmedel för betong i en mängd om, räknat som torrsubstans, 2,5-5 %, företrädesvis 3-4,5 %, av cementens vikt.
2. Förfarande enligt patentkravet 1, **kännetecknat därav**, att det användes naturlig fukt innehållande mark och att dess fukthalt inte höjes.
3. Förfarande enligt patentkravet 1 eller 2, **kännetecknat därav**, att det som mjukgöringsmedel eller rinnmedel för betong användes ligninsulfonater, sulfonerade melaminformaldehydkondensater, sulfonerat naftalinformaldehydkondensat, mjukgörande silikoner, sulfonerat antrasenformaldehydkondensat, sulfonerat fenolformaldehydkondensat, kol- och oxikolsyror, dessas salter och derivat till dessa föreningar, detergenter eller blandningar av två eller flere av dessa ämnen.
4. Förfarande enligt patentkraven 1-3, **kännetecknat därav**, att det användes 1/3 mindre cement än vad som erfordras för uppnående av samma tryckhållfasthet hos markförstärkningsmaterialet utan tillsats av mjukgöringsmedel och/eller rinnmedel för betong.

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

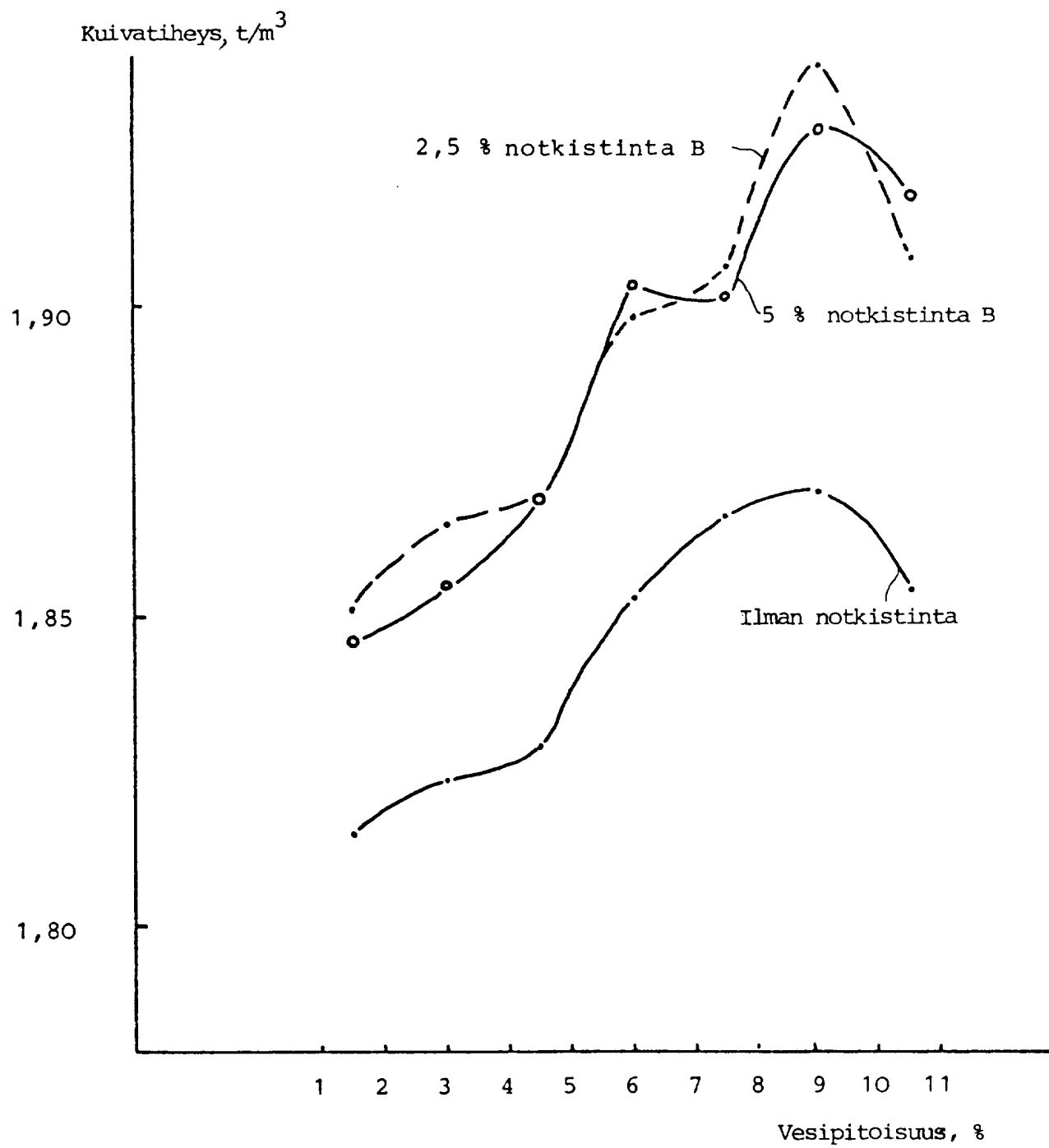
Patenttijulkaisuja:-Patentskrifter: Saksan Liittotasavalta-Föbundsrepubliken Tyskland(DE) 895 461 (E 01 C 7/34).

69172

Figur 1

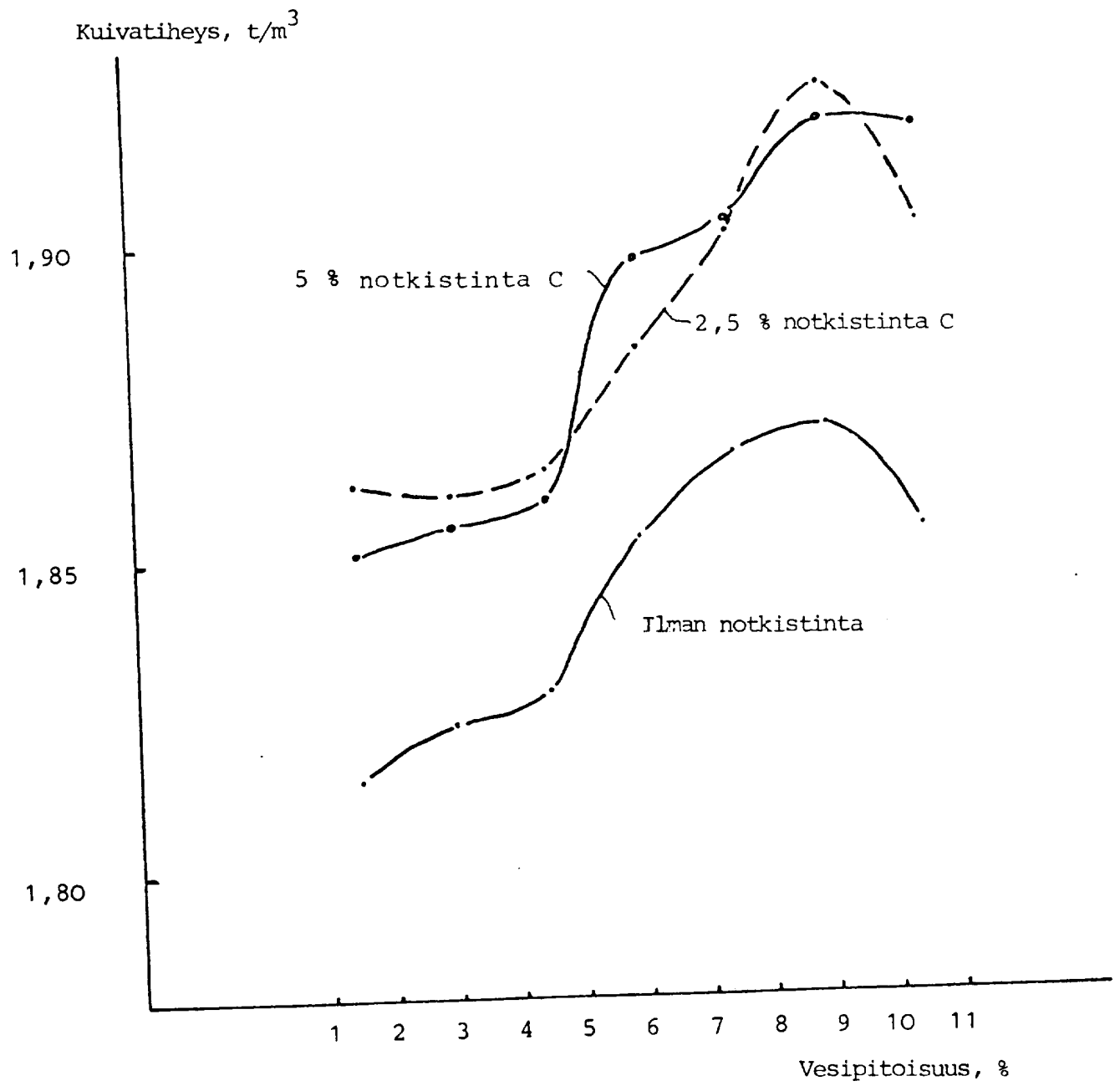


69172

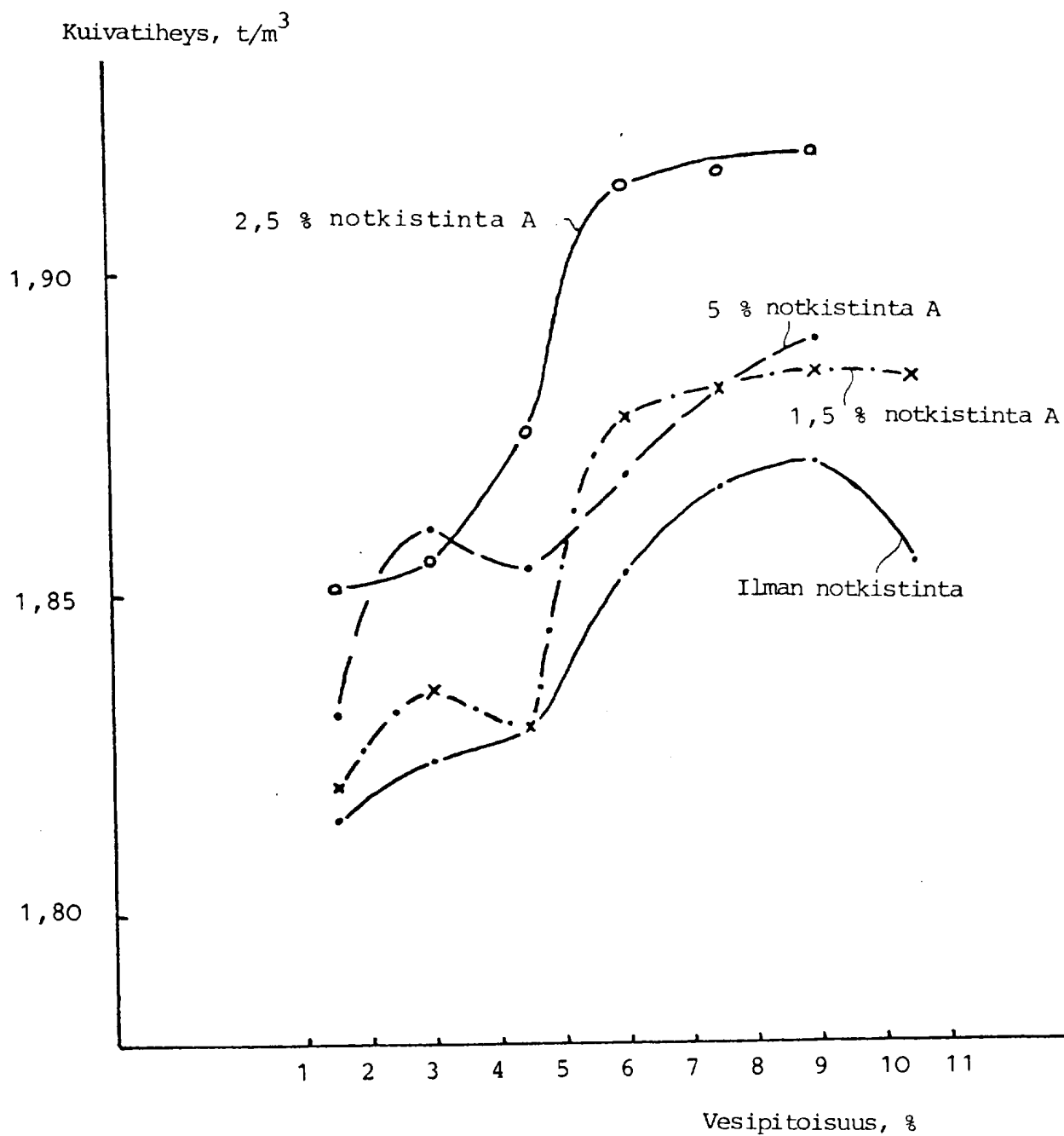
Figur 2

69172

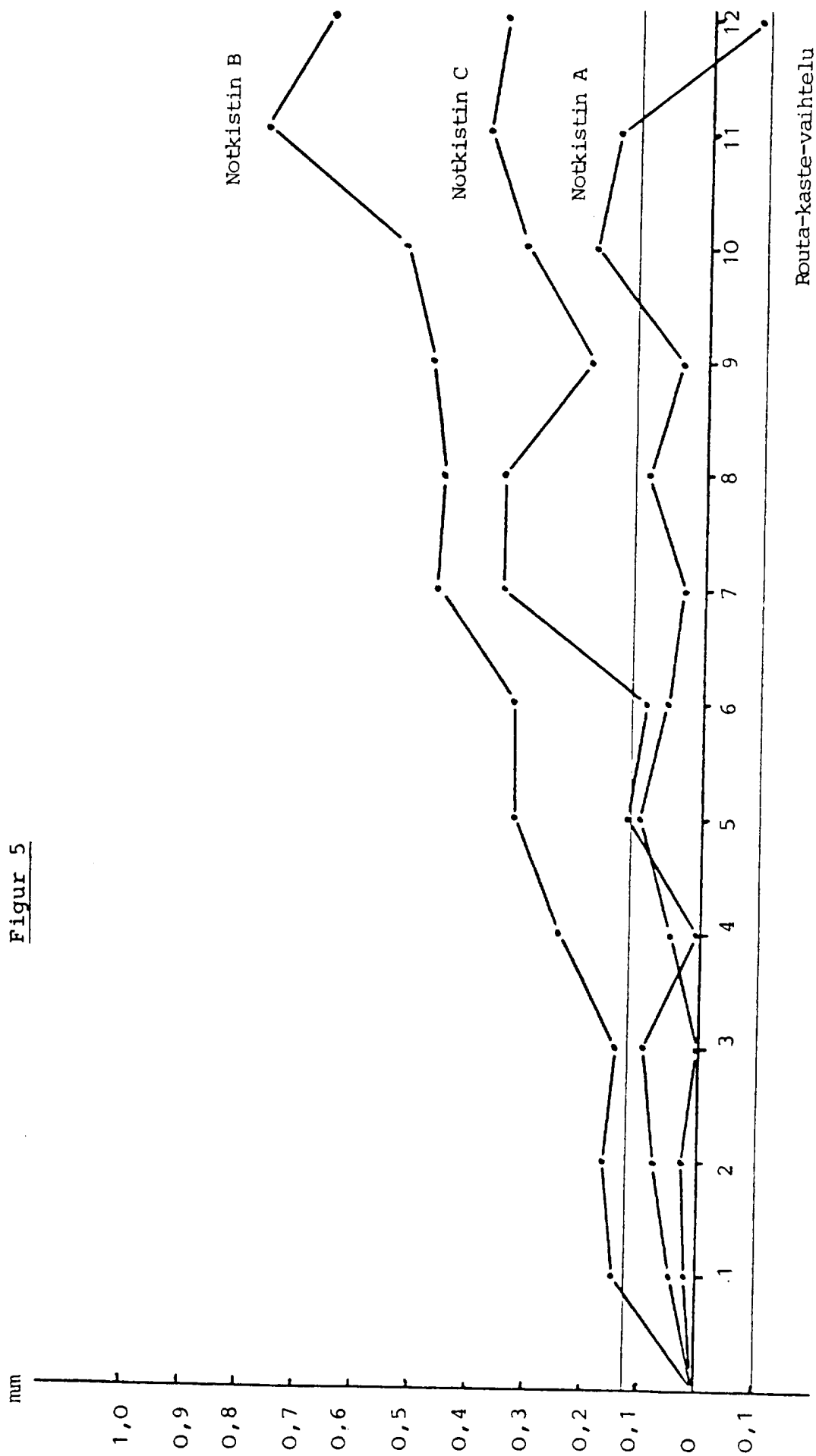
Figur 3



69172

Figur 4

Figur 5



69172