



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Vesa-Matti Luoma

**TAB-SLAB™-MENETELMÄN KÄYT-
TÄMINEN BETONISTEN LAATTOJEN
JA PALKKIEN TESTAAMISESSA**

Tekniikka ja liikenne

2011

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Vesa-Matti Luoma
Opinnäytetyön nimi	TAB-Slab™-menetelmän käyttäminen betonisten laattojen ja palkkien testaamisessa
Vuosi	2011
Kieli	Suomi
Sivumäärä	20+75 liitettä
Ohjaaja	Heikki Liimatainen

Opinnäytetyöni tarkoitus oli tehdä TAB-Slab™-ohjeiden mukaisesti suoritettuja erityyppisten betonilaattojen ja -palkkien taivutuskokeita. Lähtökohta työlle oli EU:n tuki laajaan TAB-Slab™-menetelmällä tehtävään kuitubetonitutkimukseen.

Opinnäytetyöni oli osa Primekss:n EU:lle tekemää kuitubetonitutkimusta. Työni koostui kokeiden suorittamisesta Suomessa. Toteutin kokeet Eurooppalaisten normien ja standardien mukaan.

Oma osuuteni tässä tutkimustyössä oli aikataulujen ja suunnitelmien laadinta, käytännön järjestelyt ja muottien suunnittelu sekä kokoaminen. Sen jälkeen betonisten koekappaleiden valmistus, testien suorittaminen ja työ päättyi tulosten yhteenvedoon ja kirjalliseen raportointiin, taulukoiden ja kaavioiden muodossa.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Rakennustekniikan koulutusohjelma /Construction engineering programme

ABSTRACT

Author	Vesa-Matti Luoma
Title	Concrete Slabs and Beams Testing Using TAB-Slab™-Method
Year	2011
Language	Finnish
Pages	20+75 appendices
Name of Supervisor	Heikki Liimatainen

My thesis was to make a Tab-Slab™ in accordance with instructions, four different concrete slabs with deflection tests. The base on the work was of the EU's support for large Slab™-Method of research done.

The thesis was part of the Primekss the EU's fiber concrete research. My job consisted of carrying out the experiments in Finland, from the plans, ending with a summary of the results and written reports excel tables and diagrams.

My contribution to this research work was the practical arrangements and schedules, drafting, mold design, assembly and manufacture of the concrete specimens. I carried out tests of European norms and standards.

Keywords: Fibre Concrete, reduction of CO₂ emissions, project management from start to finish, Tab-Slab™

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1.	JOHDANTO	1
2.	PROJEKTIN VAIHEET	3
2.1.	Projektiin tutustuminen ja suunnittelu	3
2.2.	Muottien kokoaminen	4
2.3.	Valupaikan valmistelu ja muottien sijoittelu	6
2.4.	Betonin valmistus	6
2.5.	Koekappaleiden valu.....	7
3.	KOEKAPPALEIDEN SÄILYTYSOLOSUHTEET	10
4.	ERIKOISTESTAUSVÄLINEET	11
5.	KUORMITUS- JA TUKIPINTOJEN PINTA-ALAT	14
5.1.	Laatoilla	14
5.2.	Palkeilla	15
6.	YHTEENVETO.....	17
	LÄHTEET.....	20

LIITTEET

1. JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia kolmen eri tyypin koekappaleilla, eritavalla vahvistettujen betonisten kappaleiden taivutuslujuutta. Testit tehdään Primekss Group ja Archelor Mittal:n-ohjeiden (Archelor Mittal. 2003. Tab-Slab™ Round Stab Testing Procedure) sekä euronormi EN 14488-5 (European standard norme. April 2006. EN 14488-5) mukaisilla taivutuskokeilla. Nyt tehtävillä suurilla testeillä saadaan totuudenmukaiset tulokset erilaisten betonilaatta-tyyppien lujuuksista. Tällä tavoin voidaan tulevaisuudessa rakentaa entistä parempia, kestävämpiä, ympäristöystävällisempiä sekä taloudellisempia betonilattioita.

Ainoastaan pienillä koekappaleilla (small scale tests), eli 600mm pyöreillä laatoilla ja palkeilla tehtyjen testien tuloksiin pohjautuvissa lujuuslaskelmissa joudutaan käyttämään suhteellisen suuria varmuuskertoimia. Kun tehdään suuren sekä täyden mittakaavan testit, saadaan tuloksia, joiden pohjalta on myös tavoite luoda päivitetty standardit kuitubetonilaattojen käytölle Euroopassa. Tässä työssä käsiteltävien tutkimuksien (jotka ovat osana suurempaa tutkimuskokonaisuutta), on tarkoitus antaa uutta todenmukaisempaa tietoa betonilattioiden kestävydestä. Myöhemmin tehtävillä jatkotutkimuksilla, selvitetään lisäksi pistekuorman aiheuttaman todellisen murtumiskulman, nyt laskennassa käytettävän teoreettisen 45° sijaan.

Vaikka suurien ja täysimittaisten kokeiden tekeminen on erittäin kallista, niillä saadaan totuudenmukaiset ja luotettavat tulokset. Kun tehdään riittävästi testejä, voidaan tulevaisuudessa tehdä johtopäätöksiä pelkästään pienien testien pohjalta. Kun pohjalla on suuri määrä testituloksia, voidaan niistä laskea jonkinlainen suhdeluku pienien ja suurien testien vertailukertoimeksi.

Kokeet suoritettiin Vaasassa Technobotnian rakennuslaboratoriossa Matertest-laitteilla. Palkit ja 600mm pyöreät laatat testattiin laitteella, jossa on Interface Model 1220-AF-sylinteri. 1600mm laatat testattiin Matertest-laitteistolla FMT-SS-DYN-MULTI 2x200 kN.

Muoteissa tarvittavat peltiosat valmistettiin ohjeideni mukaan Suupohjan Ilmastointi ja Pelti Kauhajoelta. Tarvittavat vanerit hankittiin mittojen mukaan Levy-Petteri Oy:ltä Ilmajoelta. Tarvikkeet hankittiin huomattavasta hintaerosta ja toimitusten joustavuudesta johtuen Etelä-Pohjalaisista yrityksistä. Muotit koottiin työmaalla päivää ennen valujen tekemistä, joten niiden säilytyksestä ei koitunut ongelmia.

Oma osuuteni tässä tutkimustyössä oli käytännön järjestelyt ja aikataulujen laadinta, muottien suunnittelu ja kokoaminen sekä betonisten koekappaleiden valmistus. Toteutin kokeet Eurooppalaisten normien ja standardien mukaan. Osallistuin ja hoidin käytännön testausta Primekss Groupin tutkimus- ja tuotekehitysjohtaja Kaspars Kravalisin valvonnassa ja ohjauksessa. Keräsin saadut testitulokset ja dokumentoin testit. Näistä kokosin yhteenvedon työn tilaajalle. Tulokset päätyvät Riian tekniseen yliopistoon (Riga Technical University) betonitekniikan professorien analysoitavaksi.

2. PROJEKTIN VAIHEET

2.1. Projektiin tutustuminen ja suunnittelu

Achleror Mittal on belgialainen yritys, joka on panostanut vuosikymmeniä kuitubetoni- ja kuitututkimukseen. Lisäksi yritys on patentoinut useita tutkimusmenetelmiä ja -tuotteitaan. SIA Primekss on latvialainen ympäri maailmaa toimiva kuitubetonilattia valmistaja, jolla on useiden miljoonien kuitubetonilattianeliöiden kokemus takanaan. Primeteh on SIA Primekss:n tutkimus- ja tuotekehitysyhtiö.

Projekti alkoi Achleror Mittal:in toimittamiin TAB-Slab testauksen ohjeisiin. Lisäksi hankin kaiken saatavilla olevan tiedon aikaisemmin suoritetuista testeistä Riian teknillisestä yliopistosta, Primeteh:ltä sekä Xavier Destree:ltä. Xavier Destree on belgialainen kuitubetoniasiantuntija. Hän on työskennellyt kymmeniä vuosia betonitutkimuksen parissa. Primekss/Primeteh:n puolesta työtäni ohjasi ja valvoi tutkimus- ja tuotekehitys johtaja Kaspars Kravalis. Kravalis on työskennellyt useita vuosia Primekss Groupilla tutkimassa ja kehittämässä uuden teknologian betonia. Tietoa oli kuitenkin saatavilla hyvin vähän, johtuen siitä että tutkimuksia on tehty tällä menetelmällä todella vähän. Testejä ei ole koskaan tehty nyt toteutuksessa mittakaavassa. Juuri työn haastavuus ja hyödyllisyys herättivät mielenkiintoni aihetta kohtaan. Tutkimuksen tuloksilla on toivottavasti suuri positiivinen vaikutus tulevaisuudessa betonin valmistamiseen taloudellisesti ja ekologisesti SIA Primekss:lle sekä koko maailmalle.

Tutustuttuani edellä mainittuihin asioihin, aloin selvittämään tarvittavien työkalujen, laboratorion sekä laitteiden saantia ja soveltuvuutta testeihin. Testissä tarvittavien tarvikkeiden suunnittelu ja hankinta vei useita viikkoja, koska kaikki tuli hyväksyttäväksi Primeteh:llä sekä Archelor Mittal:lla. Kaikki voima- sekä tukipintoina toimivat pinnat piti olla vertailukelpoisia edellisissä testeissä käytettyihin pin-

toihin verrattuna. Laboratorion testilaitteisto piti myös tarkastaa ja hyväksyttää edellä mainituilla tahoilla. Vasta tämän jälkeen pääsin suunnittelemaan alustavaa aikataulua. Aikataulusuunnitelman laadinta oli erittäin hankalaa, koska se tuli sovittaa sopivaksi työmaalla tapahtuvien lattiavalujen aikatauluihin. Lisäksi haastetta lisäsi muutostilassa olleet standardit testien osalta. Lopullinen aloitusaikataulu eli ensimmäinen valupäivä varmistui vasta kolme päivää ennen valua.

2.2. Muottien kokoaminen

Itse valujen valmistelu alkoi muottien kokoamisella.

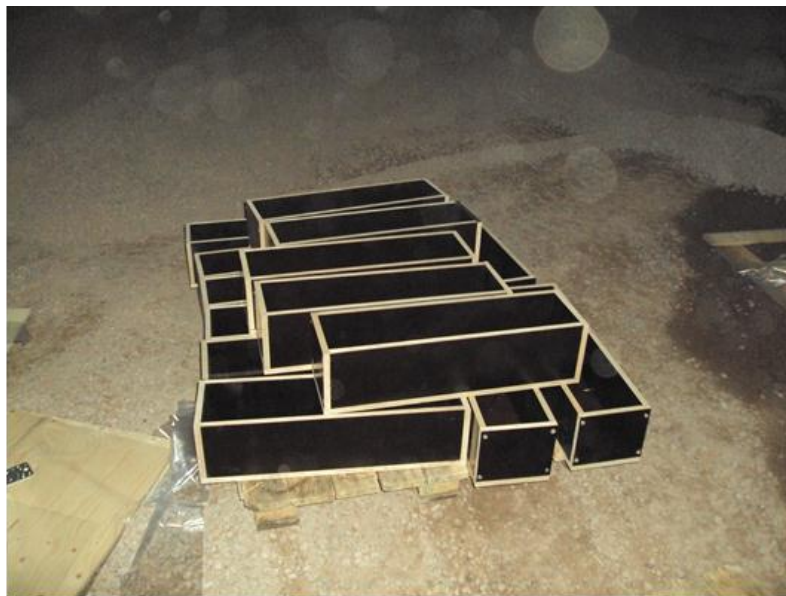


Kuva 1. Pyöreiden laattojen 1,5mm paksusta pellistä valmistetut 100mm ja 150mm korkeat ulkokehät kiinnitettiin vanerilevyihin teräskulmilla ja ruuveilla.

Saimme näin valmistettua riittävän vahvat ja muotonsa säilyttävät pysyvät muotit. Muotit toimivat myös suojana laattojen säilytyksen ja kuljetuksen aikana. Ko-

kosimme kaikki muotit vasta työmaalla. Tällä tavoin säästyimme säilytys- ja kuljetusongelmilta. Kokoamalla muotit itse, saimme varmuudella tarkoitukseemme mahdollisimman sopivat muotit.

Palkkimuotit rakensimme muottivanerista, joka oli riittävän vahvaa ja tarkoitettu rakenteeltaankin tähän käyttöön.



Kuva 2. Kokosimme palkkimuotit ruuveilla, tämä helpotti palkkien irrotusta muotteista.

600mm muottien pohjan peitimme rakennusmuovilla, joten laatat irtosivat todella helposti ja muotit säilyivät ehjinä (kuva 3.). Sijoittamalla valetut kappaleet valmiille lattialle varmistimme, että ne saivat kuivua samassa paikassa 28 vuorokauden saavuttaakseen lopullisen lujuutensa. Tämän jälkeen oli mahdollista siirtää koekappaleet laboratorioon. Kaikkien testissä käytettävien muottien hinta oli kohtuullinen ja hintaa laski vielä niiden uudelleen käyttömahdollisuus.

2.3. Valupaikan valmistelu ja muottien sijoittelu

Valupaikan valinnan suunnittelimme yhdessä työmaan pääurakoitsijan sekä työmaavalvojan kanssa, siten ettei niistä aiheutunut työmaalla haittaa. Tällä mahdollistimme, ettei kappaleita tarvinnut siirtää ennen lopullista pois kuljetusta.

Jälkihoitoa helpotti se, että saimme kappaleet sijoitettua lattiassa olevan matalamman osan pohjalle, jota käytimme vesialtaana. Tällä tavoin saimme kappaleet oikeassa vaiheessa upotettua veteen kuivumaan. Veteen upotettuna betoni sai rauhassa kovettua. Näin saatiin maksimoitua betonin lujuus ja minimoitua kuivumis- halkeamat. Valmiin lattian suojasimme betoniroiskeilta sekä fyysisiltä vauriolta suojakankaalla ja -muovilla.

Muotit sijoitettiin valualueelle tyypeittäin, mikä helpotti valua sekä valmiiden muottien merkitsemistä ennen siirtoa testilaboratorioon (kuva 4.). Näin muotit oli myös helppo lastata kuorma-autoon ryhmittäin, jolloin kuorman paino saatiin jakautumaan tasaisesti.

2.4. Betonin valmistus

Betoni valmistettiin ohjeen mukaan Luja Betoni Oy:n Helsingin asemalla, josta se siirrettiin työmaallemme.

Betoniresepti:

- Cement CEMIIA-M 42,5N 305kg/m³
- 0/8mm sand 1080kg/m³
- 8/16mm kiviä 250kg/m³
- 16/25mm kiviä 520kg/m³
- 0/0,5mm filleriä 80kg/m³
- Vettä 170kg/m³
- Tehonotkistinta 3kg/m³
- Vahvistus, jos käytettiin teräskuitua tai betoniverkkoa

Teräsverkko oli sijoitettuna muottien pohjalle. Verkko nostettiin muotin pohjasta irti 50mm korkeilla väliskeillä. Kuidut sekoitettiin työmaalla Primblower:lla suoraan betoniautoon.

2.5. Koekappaleiden valu

Koekappaleisiin käytetyn betonimassan otimme lattiavalussa käytettävästä betonimassasta (11–14 m³ määrästä), näin saimme varmistettua massan tasalaatuisuuden. Lisäksi lisäaineet ja kuidut sekoituivat suureen määrään totuudenmukaisemmin.

Valoimme jokaisen massatyyppin laatat ja palkit samasta massasta. Eli käytimme valussa kolmea eri massaa:

- Tyyppi I lyhyellä (75/50) kuidulla 35kg/betoni m³
- Tyyppi II pitkällä (1/60) kuidulla 50kg/betoni m³
- Tyyppi III ilman lisävahvistusta

- Tyypin IV vahvistettuna teräsverkolla B500K 8-150

III ja IV tehtiin samalla betonimassalla.

Suuret muotit sijoitimme siten, että saimme betonimassan suoraan Primdumperista muotteihin. Tällä tavoin säästimme aikaa ja ruumiillisen työn tarvetta (kuva 5.).



Kuva 6. Pienet muotit sijoitimme suurien taakse, joihin siirsimme massan ämpäreillä ja kottikärryillä.

Koekappaleiden valun jälkeen projektin aikataulun laatiminen oli paljon helpompaa. Betonin optimaalisen 28 vuorokauden kuivumisen ja jälkihoidon jälkeen koekappaleet siirrettiin valupaikalta Vaasaan laboratorioon. Laboratoriotutkimukset aloitimme heti, kun laboratorion henkilökunnalla oli aikaa ja laitteet olivat valmiina. Testit sujuivat aikataulua huomattavasti nopeammin, koska suunnitelmien mukaiset laitteet ja erikoistyökalut toimivat ja sopivat testaukseen suunnit-

telmien mukaan. Huomattavana tekijänä työn sujumisen kannalta oli laboratorion toimivat laitteet ja ammattitaitoinen sekä joustava henkilökunta.

3. KOEKAPPALEIDEN SÄILYTYSOLOSUHTEET

Säilytysolosuhteista saimme luotua optimaalisen hyvät. Saadaksemme koekappaleet kuivumaan jäätyttä, niin ettei niihin syntynyt missään vaiheessa kutistumishalkeamia.

Olosuhteista pidimme päiväkirjamuotoista raporttia, josta ilmenee ilman lämpötila sekä kosteus ja betonin lämpötila.

Taulukko 1. Taulukko säilytysolosuhteista.

Päivä	Paikka	Ilmanlämpötila °C	Ilmankosteus RH%	Betonin lämpötila °C
14.12.2010	Valu	15-17	60	17
15.12.2010	Työmaa	8-12	67	17
16.12.2010	Työmaa	8-13	63	17
17.12.2010	Työmaa	10-12	62	17
18.12.2010	Työmaa	14-18	60	17
19.12.2010	Työmaa	12-14	64	17
20.12.2010	Työmaa	10-12	66	17
21.12.2010	Työmaa	13-16	62	17
22.12.2010	Työmaa	9-12	67	17
23.12.2010	Työmaa	8-13	65	17
24.12.2010	Työmaa	11-13	62	Kappaleet upotettuna vesialtaaseen. Veden lämpötila noin 14 astetta.
25.12.2010	Työmaa	*	*	
26.12.2010	Työmaa	*	*	
27.12.2010	Työmaa	16-19	64	
28.12.2010	Työmaa	11-12	65	
29.12.2010	Työmaa	12-15	63	
30.12.2010	Työmaa	9-13	65	
31.12.2010	Työmaa	*	*	
1.1.2011	Työmaa	*	*	
2.1.2011	Työmaa	*	*	
3.1.2011	Työmaa	14-17	63	
4.1.2011	Työmaa	10-15	65	
5.1.2011	Työmaa	12-12	67	
6.1.2011	Työmaa	13-17	64	
7.1.2011	Työmaa	9-11	60	
8.1.2011	Työmaa	10-14	62	
9.1.2011	Työmaa	14-15	64	
10.1.2011	Työmaa	12-14	65	
11.1.2011	Kerava/Lastaus	10-15	60	
12.1.2011	Vaasa/purku	(-2)	52	
13.01.11->	Laboratorio	noin 20	*	
* ei mittaustulosta				

4. ERIKOISTESTAUSVÄLINEET

Tukipintana 600mm laatoille tuli ohjeen mukaan käyttää 500mm sisämitaltaan olevaa pyörää putkea. Projektipalvelu Tila Oy toimitti juuri mittoihin sopivan valurautarenkaan, sisähalkaisijaltaan 500mm seinämä ja paksuudeltaan 5mm (kuva 7.). Renkaan reuna toimi tukipintana koko pinta-alaltaan.

Valurautarenkaan pohjana käytettiin 30mm paksua teräslevyä ohjainkiskoineen. Irtonaisen valurautarenkaan paikoillaan pysyminen varmistettiin kulmiin hitsatuilla 30*30mm kulmaraudan paloilla. Levyn alapinnassa olevissa H-palkeissa oli kierretyt 10mm reiät. Reikiin asennetuilla pulteilla pystyimme keskittämään levyn tarkalleen paikalleen ja lukitsemaan siihen.



Kuva 8. Suunnittelemani ja Länsiväylän Metalli Oy:n valmistama pohjalevy on tässä kiinnitettynä ja kohdistettuna puristuslaitteistoon.

Suurten 1600mm laattojen testaamiseen tarvittiin sylinterin karaan laipalla kiinnitettävä 150mm halkaisijaltaan oleva umpiteräksinen kärki (kuva 9.). Suurten 1600mm laattojen puristus- ja puristusalustana käytettiin 1500mm betonista valmistettua kaironrengasta. Putken pituus oli 1000mm, mikä mahdollisti kokeiden tekemisen muuttamatta testilaitteiston korkeutta.

Betonirenkaan reuna oli testiimme liian epätasainen ja karkea. Tasoitin reunan ja täytin kaksikomponenttimassalla reunassa olevat kolot. Renkaan reunan päälle asetettiin laatta.

600mm pyöreiden laattojen puristamiseen ohjeen mukaan tuli käyttää 100mm halkaisijaltaan olevaa kärkeä (kuva 10.). Kärkien ja alapuolella olevien tukipintojen koko ja tarkka mitta olivat tärkeitä kokeen tulosten oikeellisuuden kannalta.

Palkkien koeponnistaminen aiheutti tukipintoina toimineeseen kehikkoon vaakasuuntaiset keskipisteestä ulospäin suuntautuvat voimat. Tämä aiheutti päätykappaleiden taipumista yläkulmista ulospäin 20-30mm, mikä muutti tukipintojen välistä etäisyyttä vääristäen tuloksia. Kokeiden aikana otetuista videokuvista tämä tukirakenteen muodon muutosten (suunta ja määrä) ovat hyvin huomattavissa.



Kuva 11. Tukipintakehikko jousti palkkeja koeponnistaessa nuolien osoittamalla tavalla.

Jatkotesteihin suunnittelin uuden ja tukevamman tukipintakehikon. Uusi kehikko on tehty kestämään tarvittavat voimat muuttamatta muotoaan, joten sillä tehtävät kokeet antavat palkeista tarkemmat tulokset.

5. KUORMITUS- JA TUKIPINTOJEN PINTA-ALAT

5.1. Laatoilla

Tab-Slab™-menetelmän noudattaminen testeissä edellyttää käytettäväksi tietyn kokoisia ja mallisia kuormitus- ja tukipintoja kokeiden suorittamisessa. Oheisesta taulukosta (taulukko 2.) on todettavissa, että käytössämme oli Archelor Mittal:n hyväksymät pinta-alat.

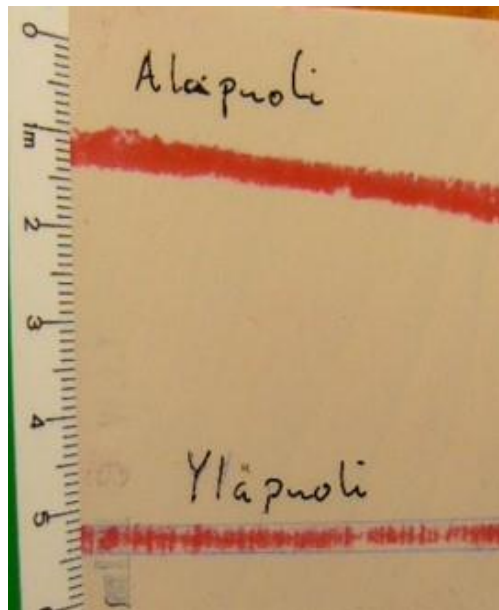
Taulukko 2. Kuormitus- ja tukien pinta-alat pyöreillä laatoilla.

<u>Pinta-ala kaavat</u>	
Kuormituspinta-ala	$A = \pi * r^2$
Tukipinta-ala	$A = \pi * r_{ulko}^2 - \pi * r_{sisä}^2$
<u>600mm</u>	
$A_{kuormitus}$	$\pi * 0,05m^2 = \mathbf{0,008m^2}$
$A_{tukipinta}$	$\pi * 0,255m^2 - \pi * 0,250m^2 = \mathbf{0,008m^2}$
<u>1600mm</u>	
$A_{kuormitus}$	$\pi * 0,075m^2 = \mathbf{0,018m^2}$
$A_{tukipinta}$	$\pi * 0,795m^2 - \pi * 0,750m^2 = \mathbf{0,22m^2}$

600mm laatoilla tukipintana toimi valurautarenkaan reuna. Kuormituspintana toimi halkaisijaltaan 100mm oleva kärki. 1600mm tukipintana oli betonirenkaan huullos. Kuormituspintana 150mm halkaisijaltaan oleva umpiteräskärki.

5.2. Palkeilla

Pinta-ala on saatu mittaamalla paperille filmille värjäytyneiden kosketuspintojen pinta-alat. Tukipinnan (alapuoli) ja kuormituspinnan (yläpuoli) välinen suuri ero johtuu pintojen pituuserosta sekä muodosta. Tukipinta on 150mm pitkä ja puristus-
pinta 115mm pitkä.



Kuva 12. Tukipinta-ala on saatu käyttämällä Fujifilm Prescale-filmiä palkin ja tukipinnan välissä. Kuormituspinta-ala on saatu filmistä mikä oli kuormituspinnan ja palkin välissä. Ohessa kuva Prescale-filmin tuloksesta.

Suurten 1600mm laattojen puristusalustana käytettiin 1500mm sisähalkaisijaltaan olevaa betonista valmistettua kaivonrengasta (kuva 13.). Renkaan sisäpuolinen huullos toimi tukipintana. Huulloksen seinämävahvuus oli 45mm. Kaivonrenkaan pituus oli 1000mm, mikä mahdollisti kokeiden tekemisen muuttamatta testilaitteiston korkeutta.

Betonirenkaan reuna oli tarkoitukseemme aivan liian epätasainen ja karkea. Tasoitin reunan ja täytin reunassa olevat kolot kaksikomponenttimassalla, mikä oli lujuudeltaan betonin kaltaista. (kuva 14.).

1600 mm laattojen keskikohdan merkitsin 800mm pitkällä piirtoraudalla 6:sta eri kohdasta laatan reunoilta (kuva 15.). Merkittyjen kohtien välinen etäisyys oli suurimmillaan 30mm eli 1,9 % laatan halkaisijasta. Tämä mittatarkkuus oli täysin hyväksytyssä toleranssissa. Näiden merkkien keskipisteestä piirsin 150mm halkaisijaltaan olevan ympyrän, josta pystyimme keskittämään puristuskohdan tarkalleen. (kuva 16.).

Suurten laattojen painon ja koon vuoksi niiden siirtäminen tapahtui siltanosturilla. Laattojen nostamiseen tarvittiin riittävän vahvat koukut ja jotka tarttuivat laatan alapintaan ja tukeutuivat reunoihin nostettaessa. Nostokoukut valmisti Länsiväylän Metallit Espoosta antamieni ohjeiden ja mittojen mukaan.

6. YHTEENVETO

Nyt suoritettujen kokeiden tuloksista voi todeta, että betoni ilman raudoitusta kestää erittäin vähän vetorasitusta. Teräskuidulla vahvistettu betoni on sitkeämpää, mutta käytetyillä kuitumäärillä kestää vähemmän taivutusvetorasitusta kuin perinteinen verkolla vahvistettu.

Testissä käytetyt teräskuiduilla vahvistetut (tyyppi 1 75/50 kuitu ja tyyppi 2 1/60 kuitu) betonilaatat omaavat samankaltaisen sitkeysominaisuuden betonin murtumisen jälkeen, jolloin teräskuidut alkavat toimia vastustamalla alapintaan syntyvää vetoa. Tekemillämme testeissä kuiduilla vahvistetut betonilaatat kestivät vähemmän taivutusmomenttia kuin verkolla vahvistetut. Kuitulaattoihin ei kuitenkaan syntynyt yläpintoihin leikkausmurtumaa, kuten kaikkiin verkolla vahvistettuihin laattoihin. Verkolla vahvistettuihin laattoihin tämän testin aikana silmämääräisesti havaittuna syntyi leikkausmurtumaa jo ennen kuin voima ylitti kuiduilla vahvistettujen laattojen maksimivoiman.

Suurin ja merkittävin ongelma on verkolla vahvistetun laatan yhtäkkinen täydellinen rikkoontuminen, mikä on lähes yhtä kertaluontoinen kuin vahvistamattomien laattojen. Toisena merkittävänä heikkoutena on verkkoa käytettäessä alapinnan (25mm) ja yläpinnan (117mm) vahvistamaton osa, eli laatan taipuessa alapinnasta irtoaa jo varhaisessa vaiheessa satunnaisesti epämääräisen muotoisia paloja. Irtoavien palojen koko (mm²) oli hyvin vaihteleva, mutta paksuus oli 0-12mm. Jo suhteellisen varhaisessa vaiheessa, ennen maksimikuormitusta verkkolaatoissa oli silmämääräisesti havaittavissa puristuskärjen aiheuttamaa leikkausmurtumaa. Leikkausmurtuma yhdessä irtoavien palojen kanssa heikentävät laatan kestävyyttä. Osassa tyyppin neljä verkolla (B500K 8-150) vahvistettuja laattoja oli havaittavissa verkon irtoamista, johtuen alapinnassa tapahtuneesta palojen irtoamisesta sekä vetorasituksesta.

Näiden nyt tehtyjen tutkimusten perusteella voin todeta kuitubetonilaatan suureksi eduksi laatan tasalaatuisuuden, johtuen kuitujen erittäin tarkasta jakautumisesta koko laatan tilavuudessa. Voimme kuitenkin kuitulaattojen tuloksista tehdä johtopäätös, että tarvitsemme lisätutkimuksia voidaksemme tulevaisuudessa valita oikean kuidun ja kuitumäärän (kg/m^3) entistä tarkemmin. Tämän ja tulevien testauksien pohjalta voimme nyt ja tulevaisuudessa laskea ja valmistaa entistä paremmin riittävän kestävästä betonilaattaa. Näissä testeissä käytimme kuitua vain 35–50 kg/m^3 . Tämän hetkisen tiedon mukaan kuitua voidaan käyttää jopa yli 100 kg/m^3 , jolloin saadaan huomattavasti kestävämpiä laattoja.

Tuloksista voidaan todeta, että verkolla vahvistettu kesti huomattavasti enemmän voimia kuin vahvistamaton betoni. Kuidulla vahvistetuissa laatoissa tapahtui testaamisen aikana sitkeää rikkoutumista. Tulemme jatkossa suorittamaan uusia koekteita suuremmilla kuitumäärillä ja erityyppisillä kuiduilla.

Tämän projektin alussa oli hieman ongelmia aikataulujen suhteen. Hankalinta oli laattojen valamisen aikataulun sovittaminen työmaan aikatauluihin. Valut suoritettiin todella isolla, yli vuoden kestäväällä työmaalla Uudellamaalla.

Laattojen kuivuminen ja jälkihoito onnistui suunnitelmieni mukaan. Testiaikataulumme laboratoriossa oli jopa liiankin väljä. Pyrimme suunnittelemaan aikataulun realistiseksi, mutta otimme myös huomioon, että testit suoritetaan yrityksen, laboratorion ja minun osaltani ensimmäistä kertaa. Testit on suoritettu aikaisemmin Belgiassa ja Riian teknisessä yliopistossa Latviassa.

Kokonaisuutena aikataulun suunnittelu onnistui kuitenkin hyvin, kun ottaa huomioon testien laajuuden ja sen monet työvaiheet. Saimme hoidettua koko projektin suunnitellun aikataulun mukaan.

Projektin tuloksia käytetään jo nyt uusien lattiaprojektien laskennassa. Olemme jatkaneet laattakokeita entistä laajemmin ja suuremmilla laatoilla. Vaasassa toteutetaan opinnäytetyönä täyden mittakaavan testi (full scale test), jossa on myös eristeros betonilaatan alla. Toimin ohjaajana opinnäytetyöhön Primekss Groupin puolelta.

LÄHTEET

Archelor Mittal. 2003. Tab-Slab™ Round Stab Testing Procedure.

European standard norme. April 2006. EN 14488-5

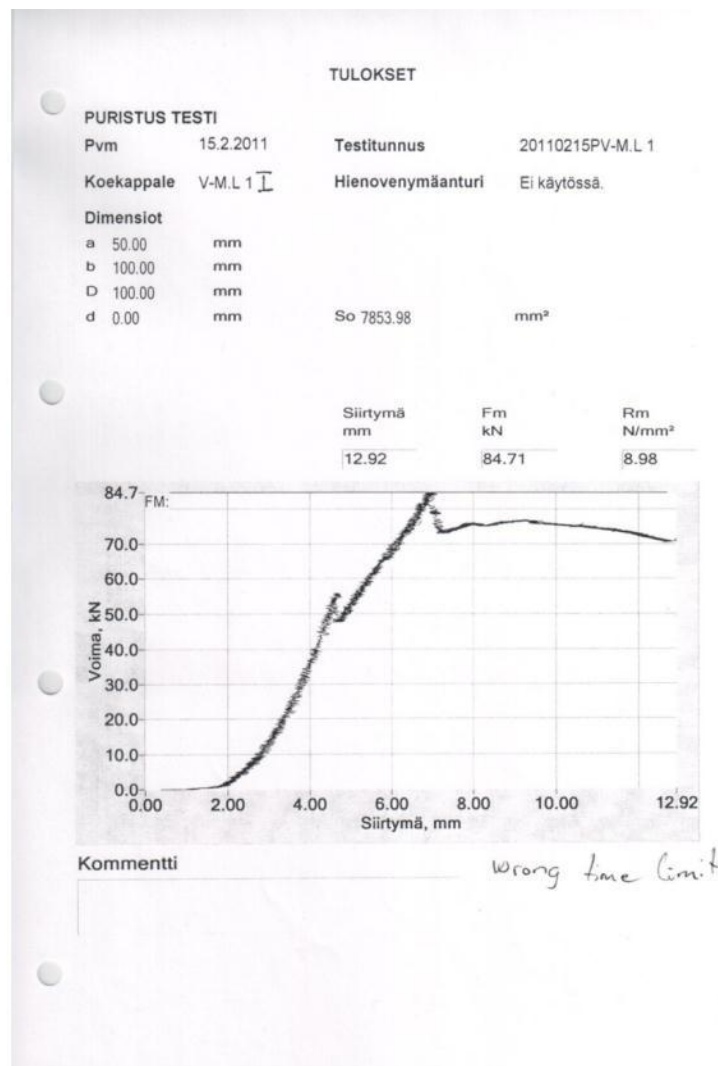
LIITTEET

TESTIRAPORTIT

1.1. 600 mm laatta

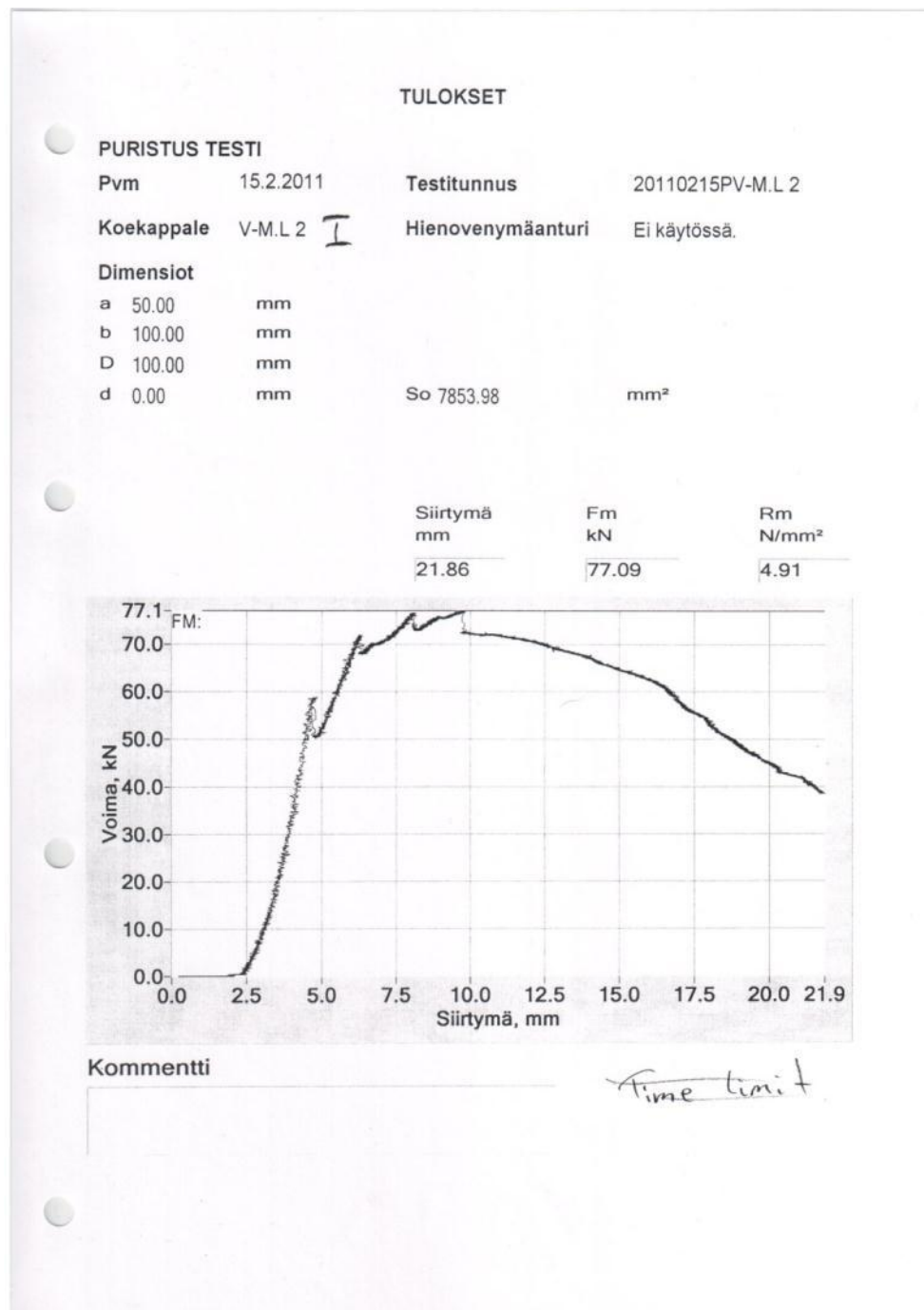
Tyyppi I

1.



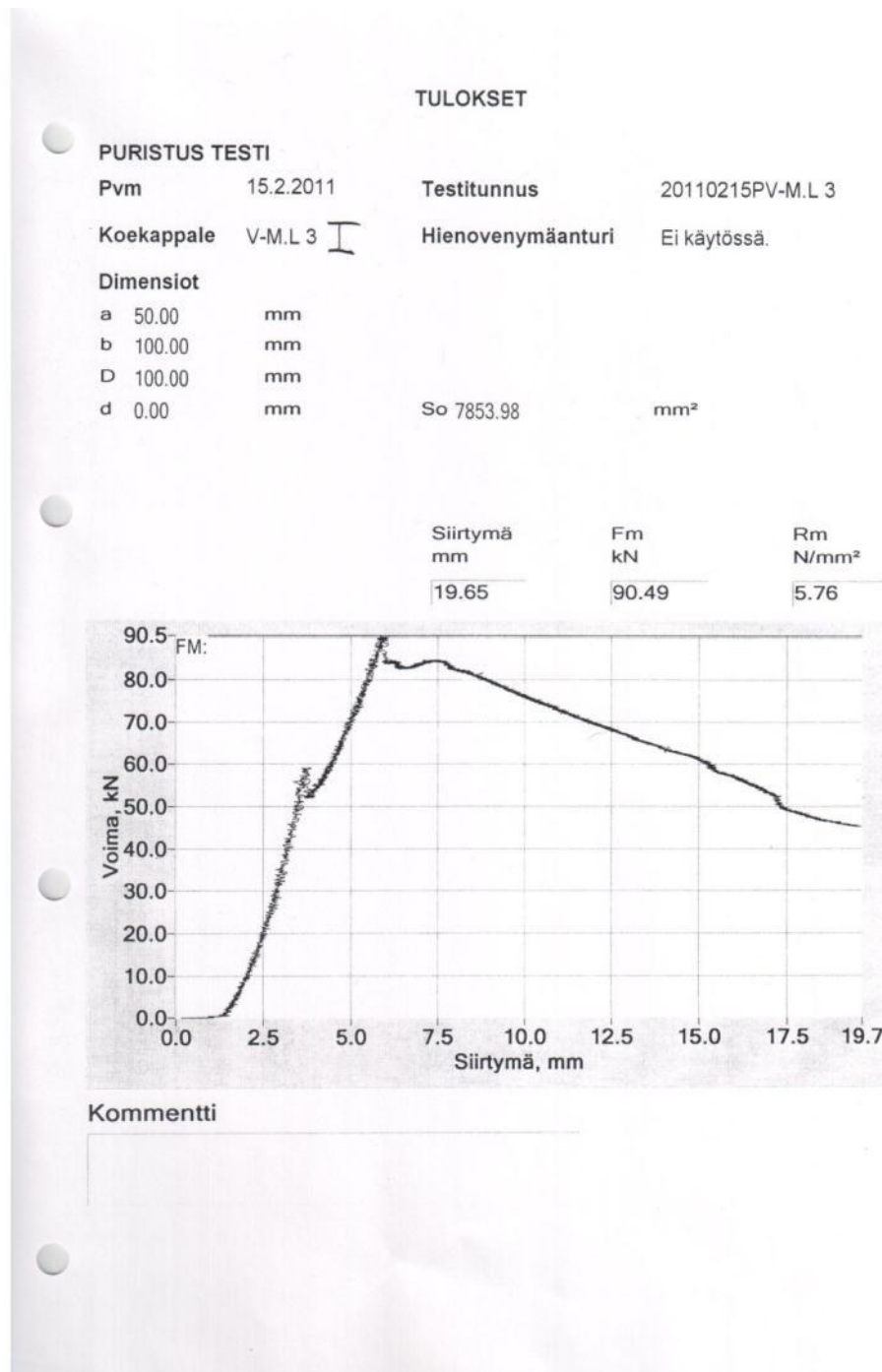
Halkaisijaltaan 600 mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Vahvistuksena kuitu 75/50, 35kg/betoni m³.

2.



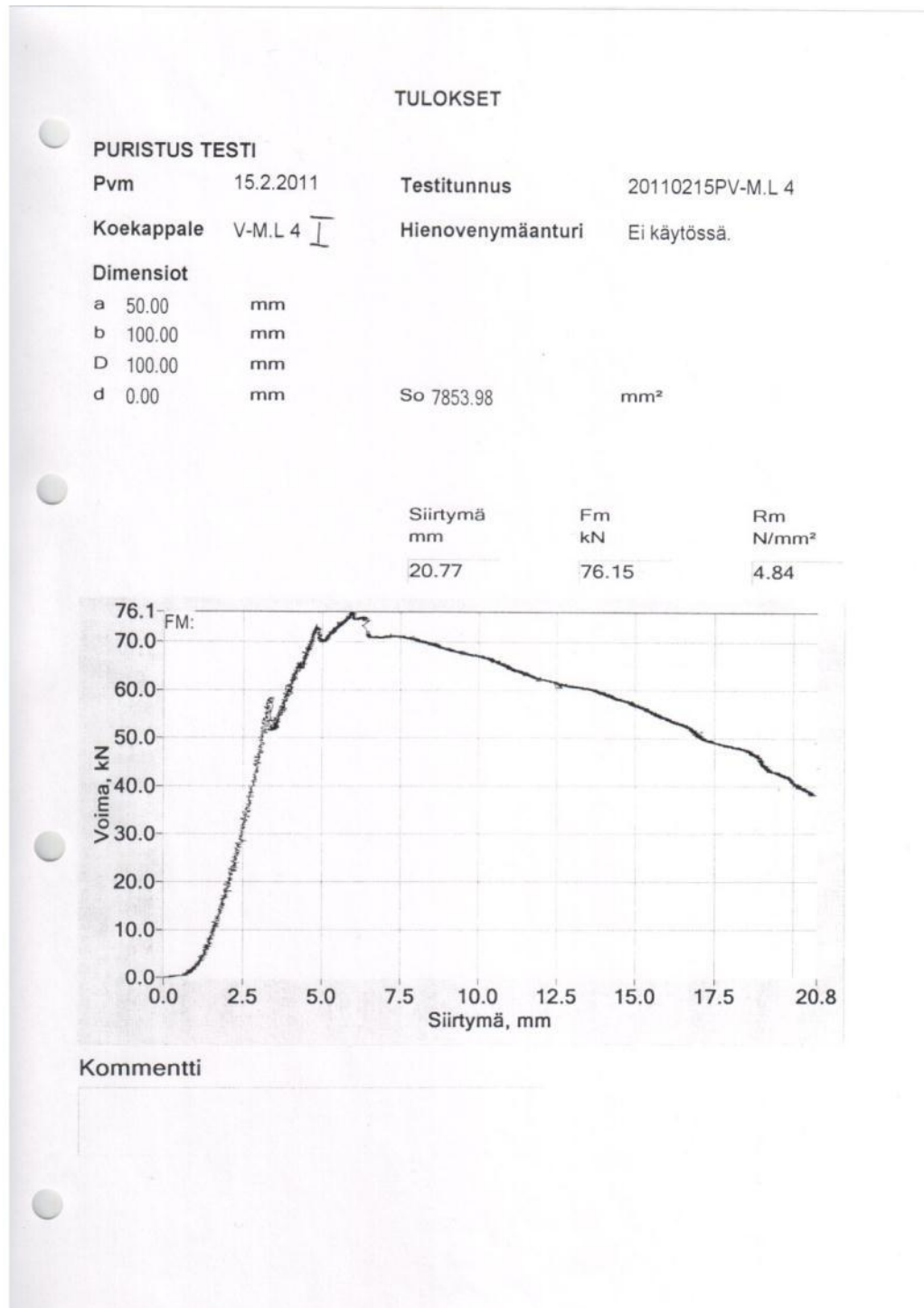
Halkaisijaltaan 600 mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Vahvistuksena kuitu 75/50, 35kg/betoni m³.

3.



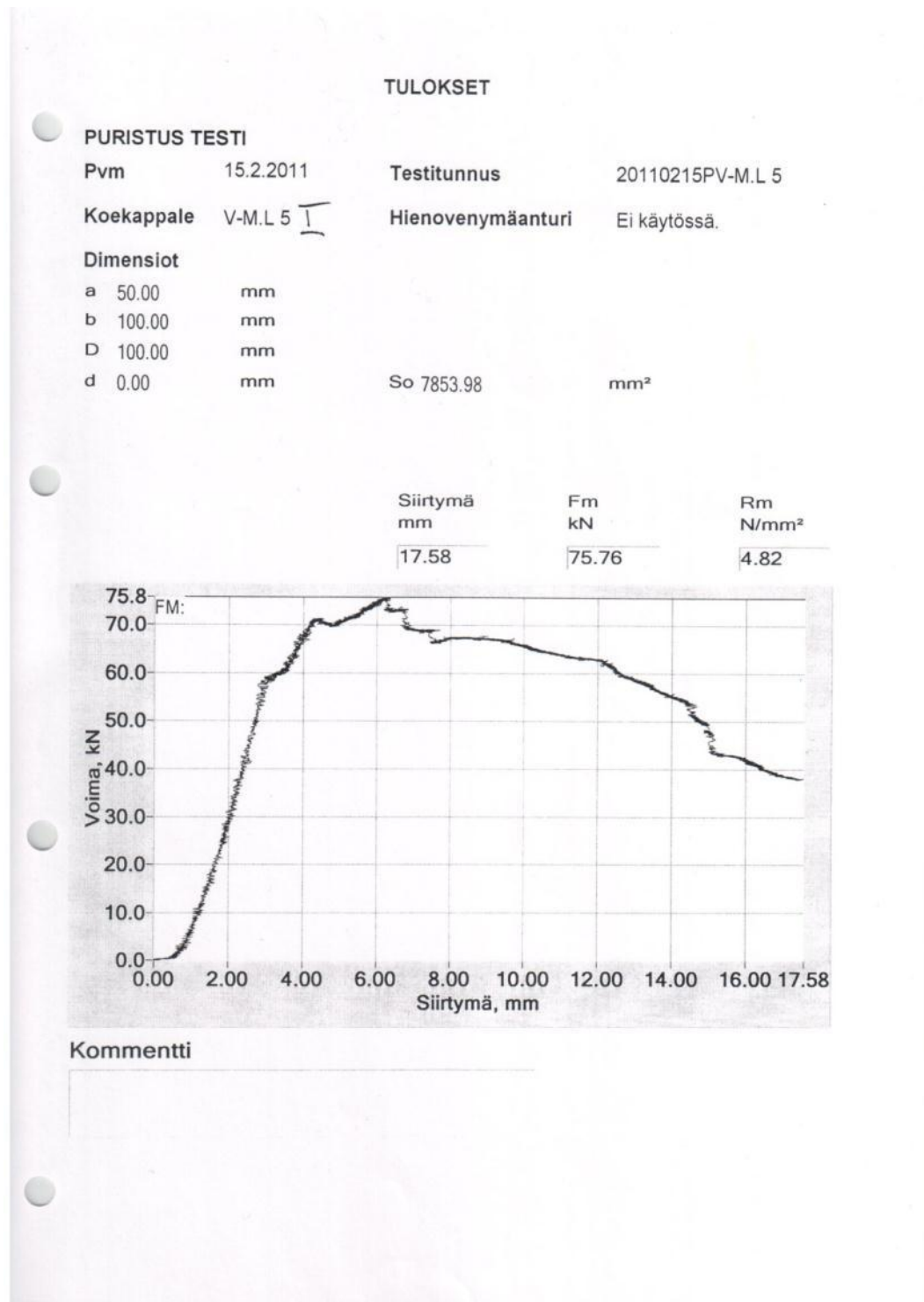
Halkaisijaltaan 600 mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Vahvistuksena kuitu 75/50, 35kg/betoni m³.

4.



Halkaisijaltaan 600 mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Vahvistuksena kuitu 75/50, 35kg/betoni m³.

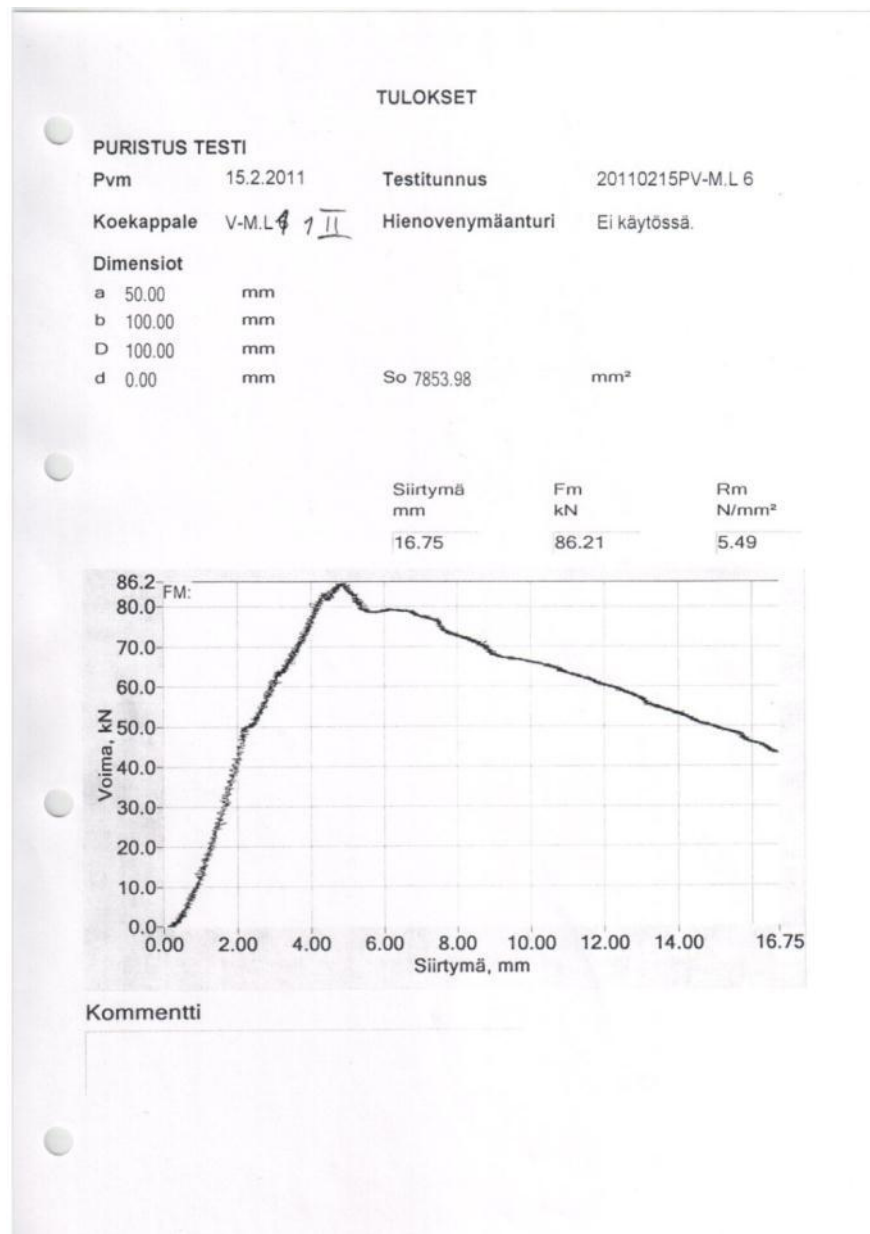
5.



Halkaisijaltaan 600 mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Vahvistuksena kuitu 75/50, 35kg/betoni m³.

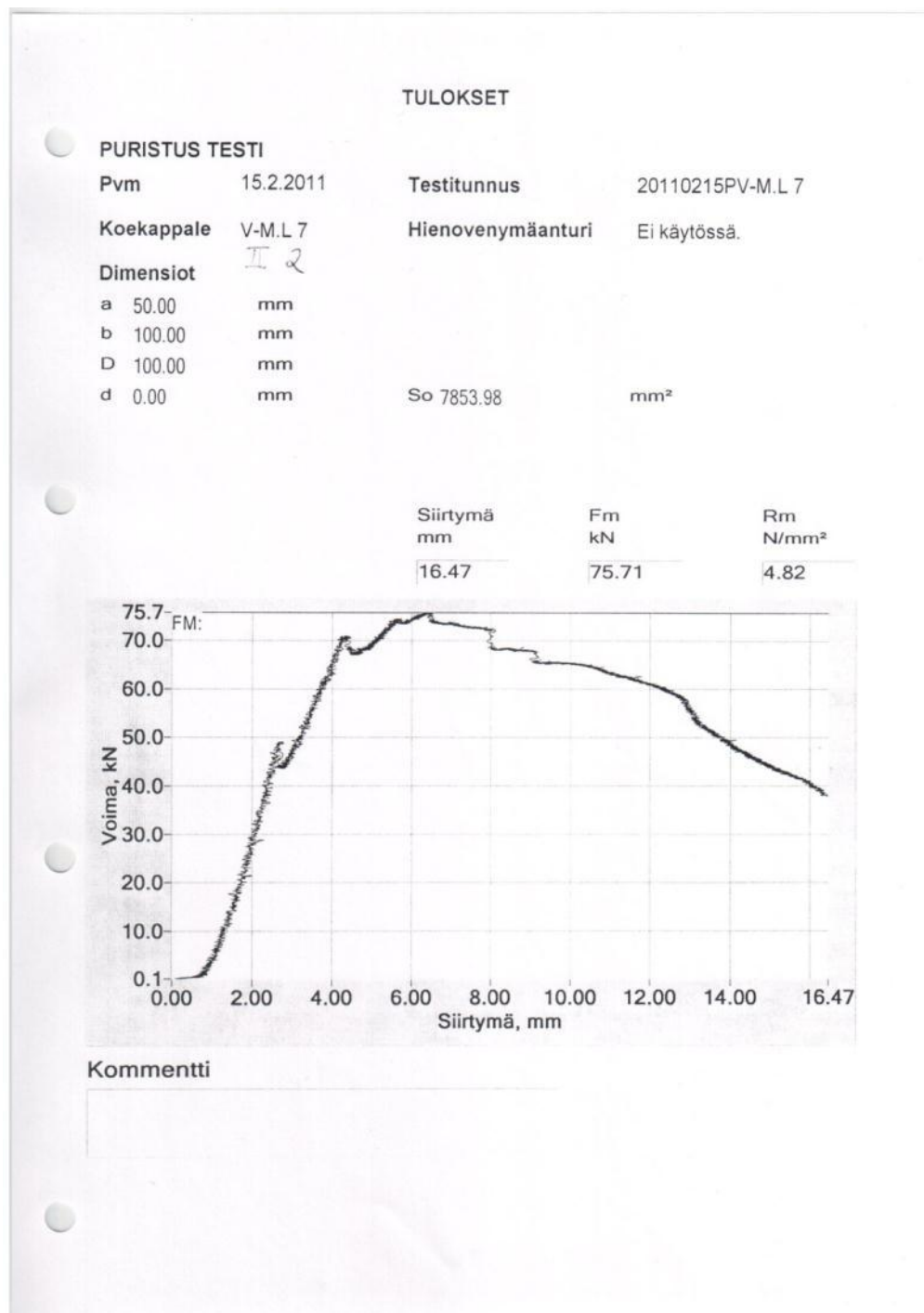
Tyyppi II

1.



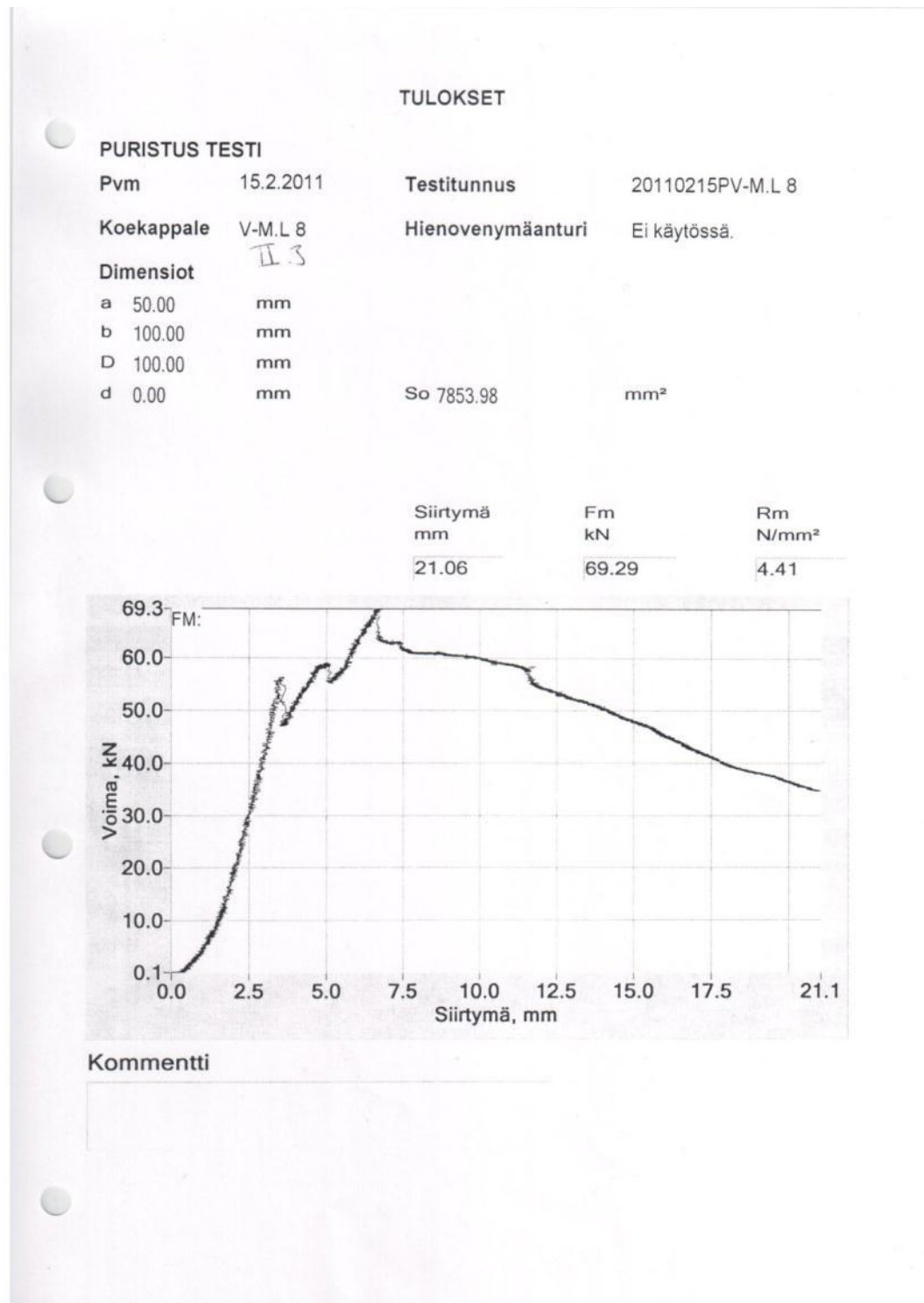
Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

2.



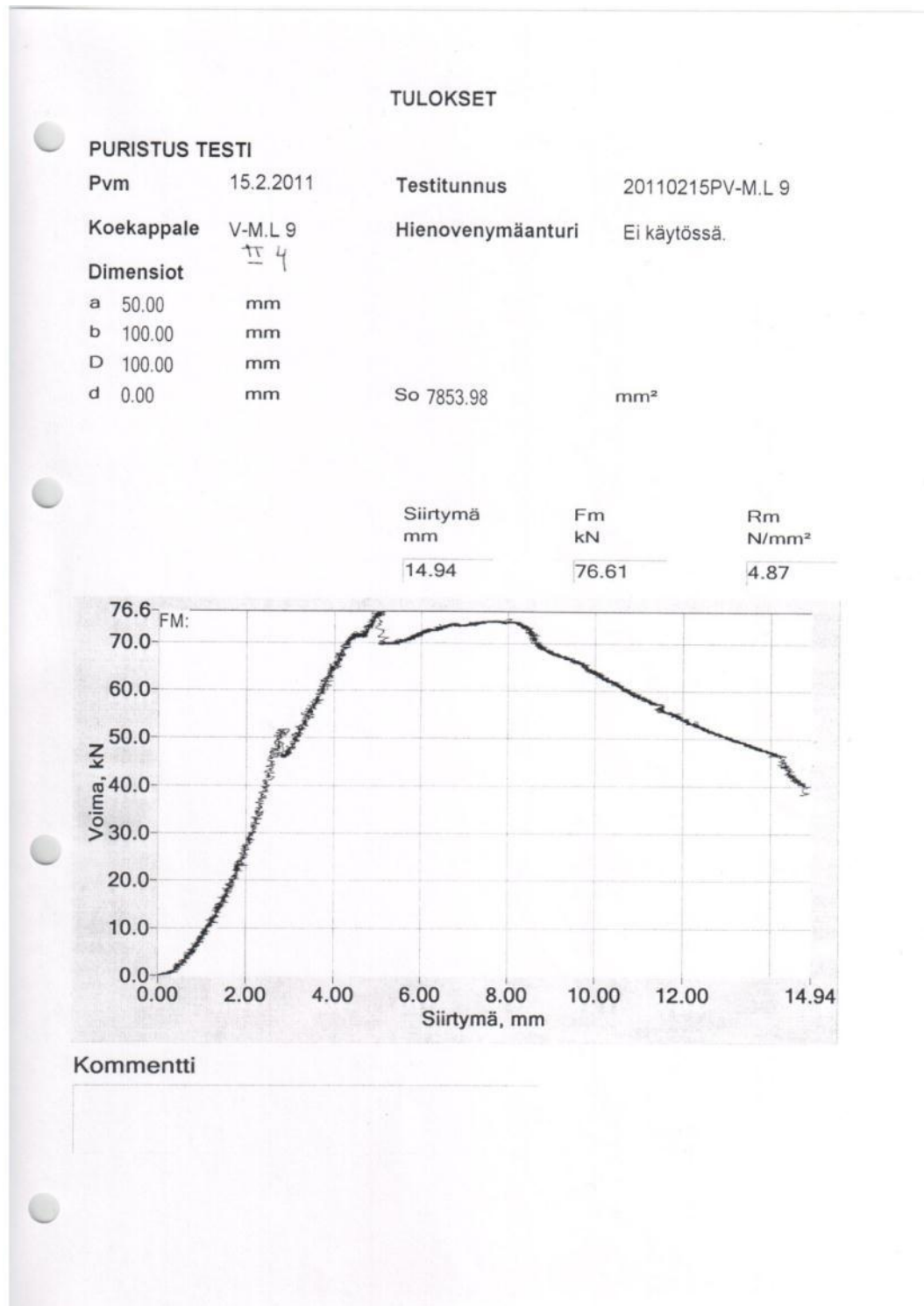
Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Käytetty vahvistus teräs-
kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

3.



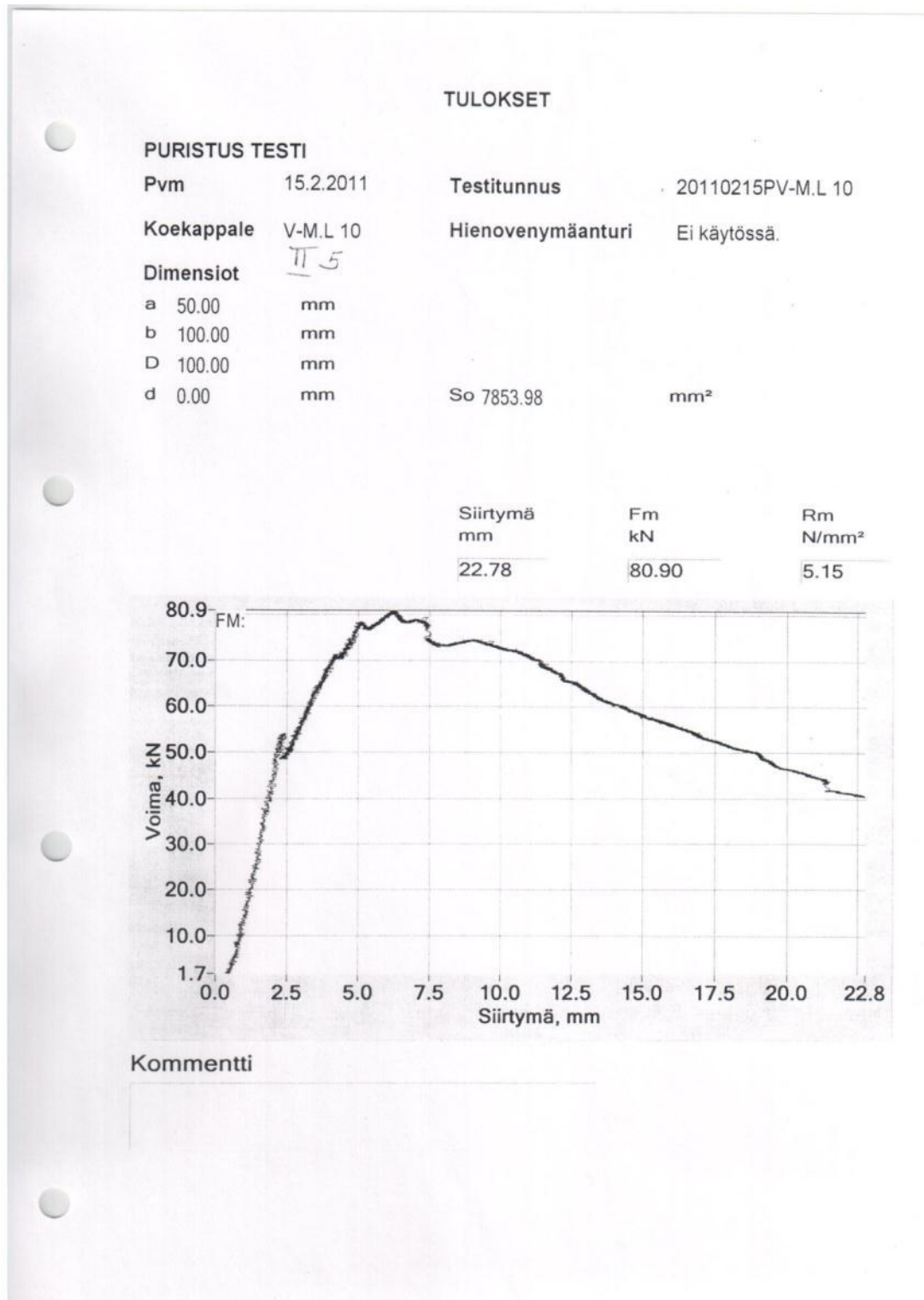
Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

4.



Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

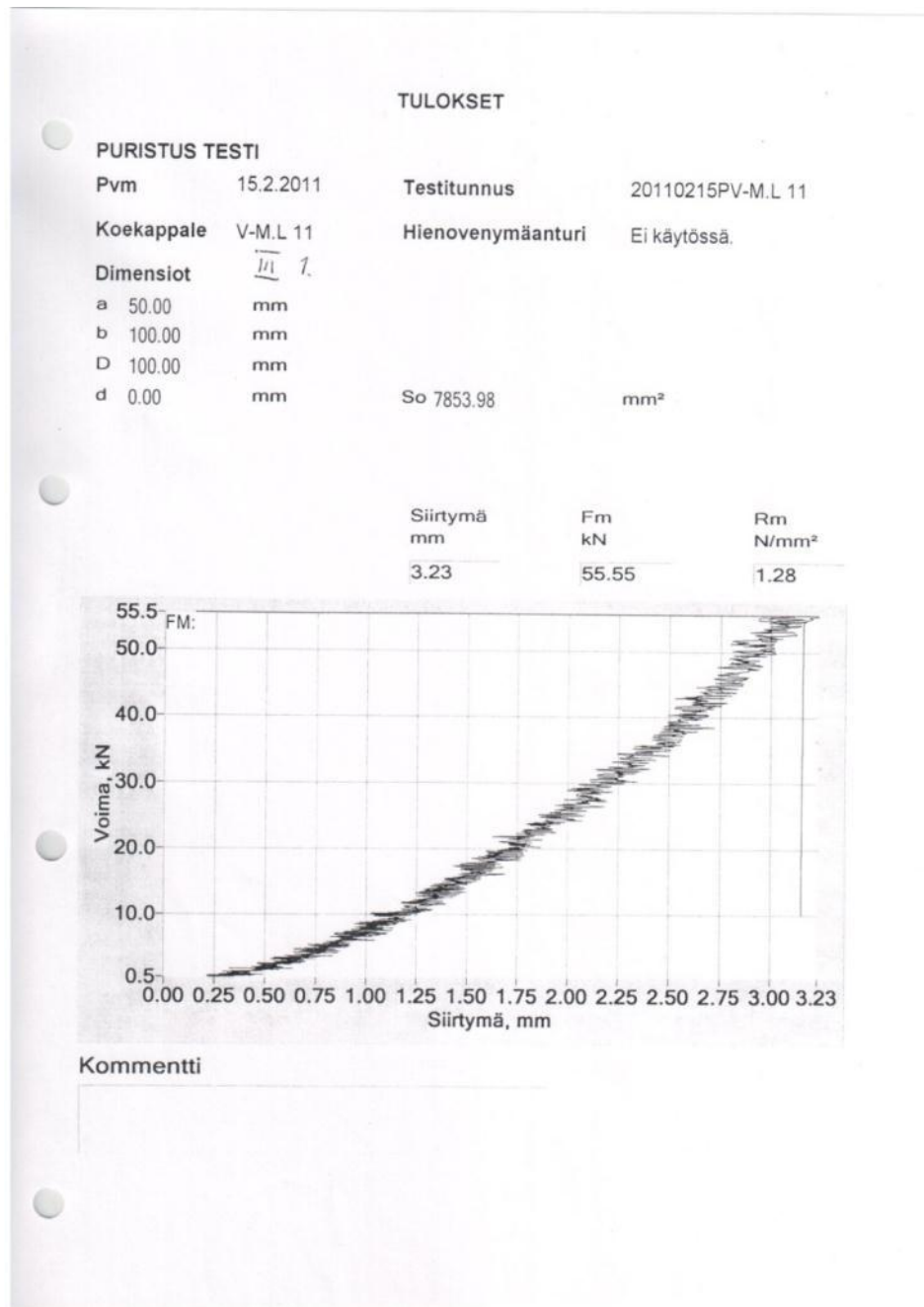
5.



Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

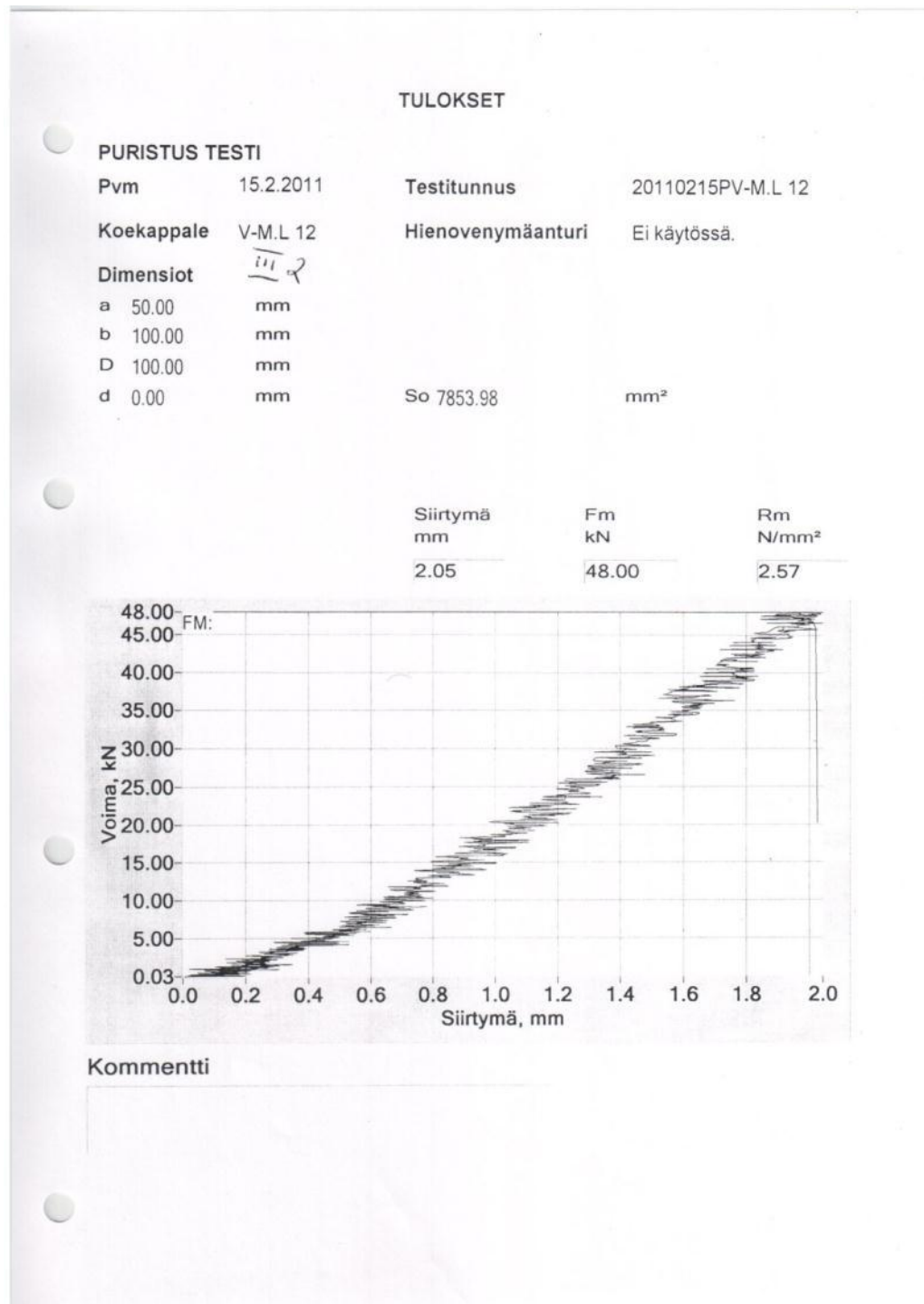
Tyyppi III

1.



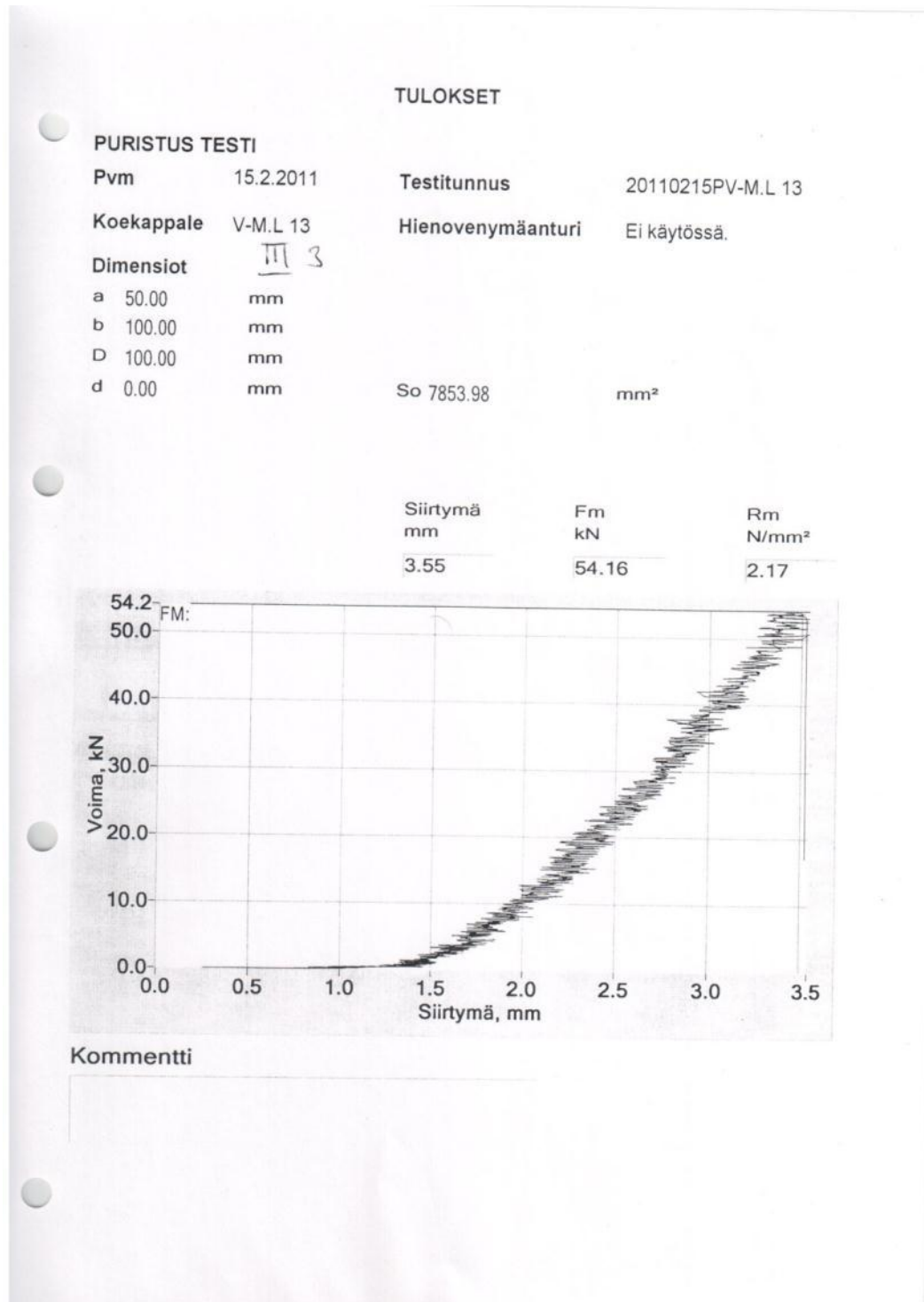
Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Ei käytetty vahvistusta.

2.



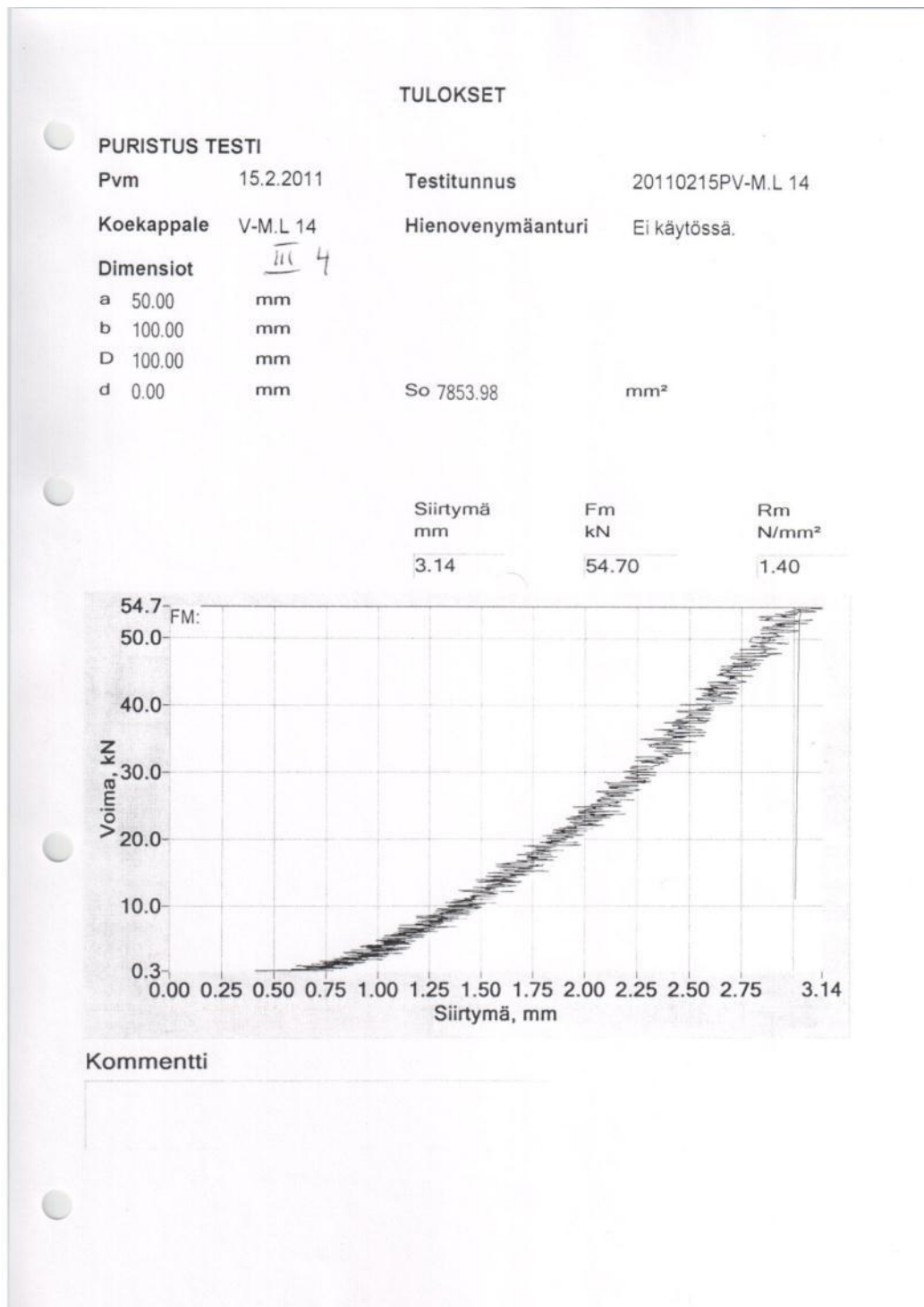
Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Ei käytetty vahvistusta.

3.



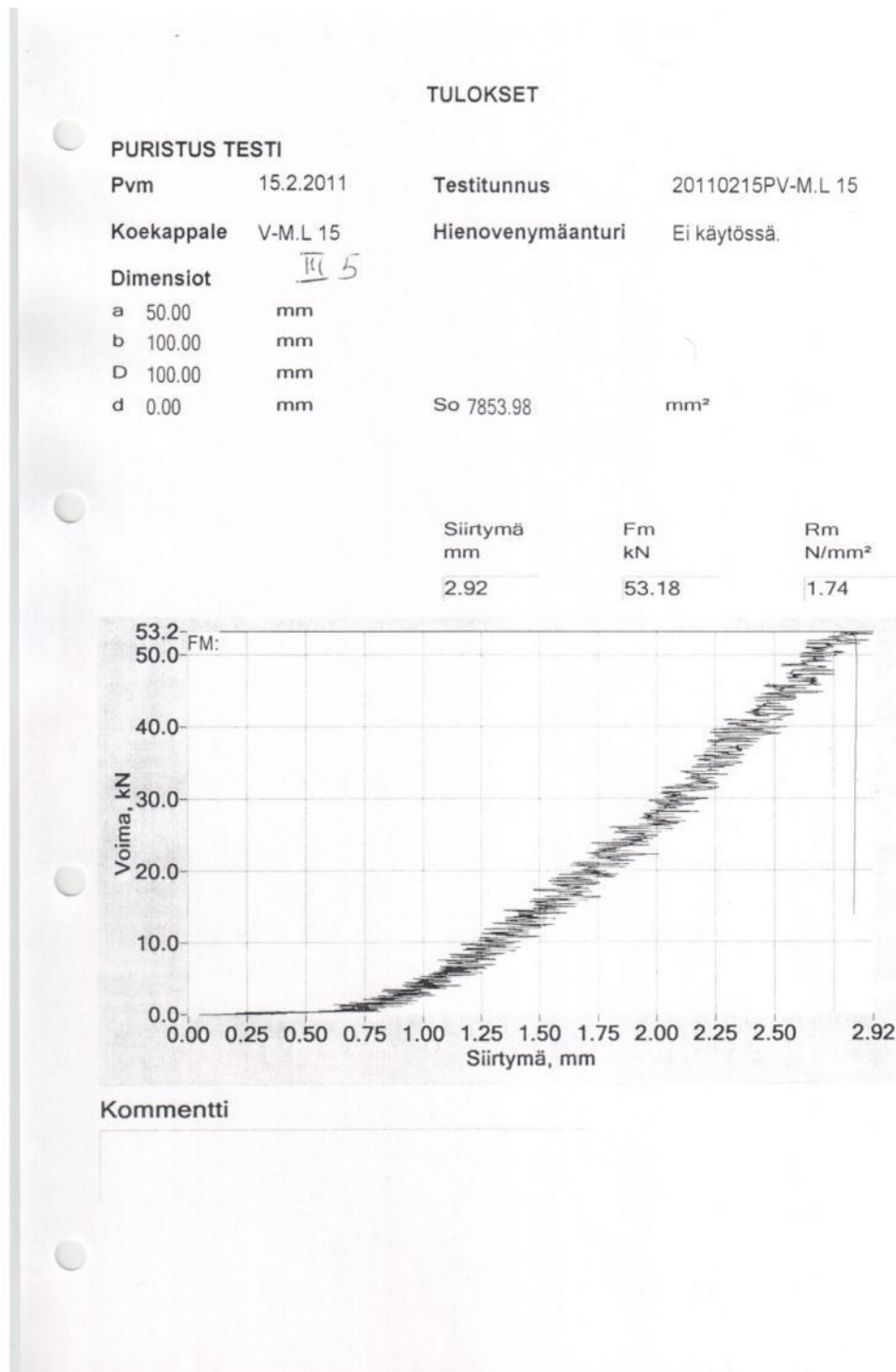
Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Ei käytetty vahvistusta.

4.



Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Ei käytetty vahvistusta.

5.

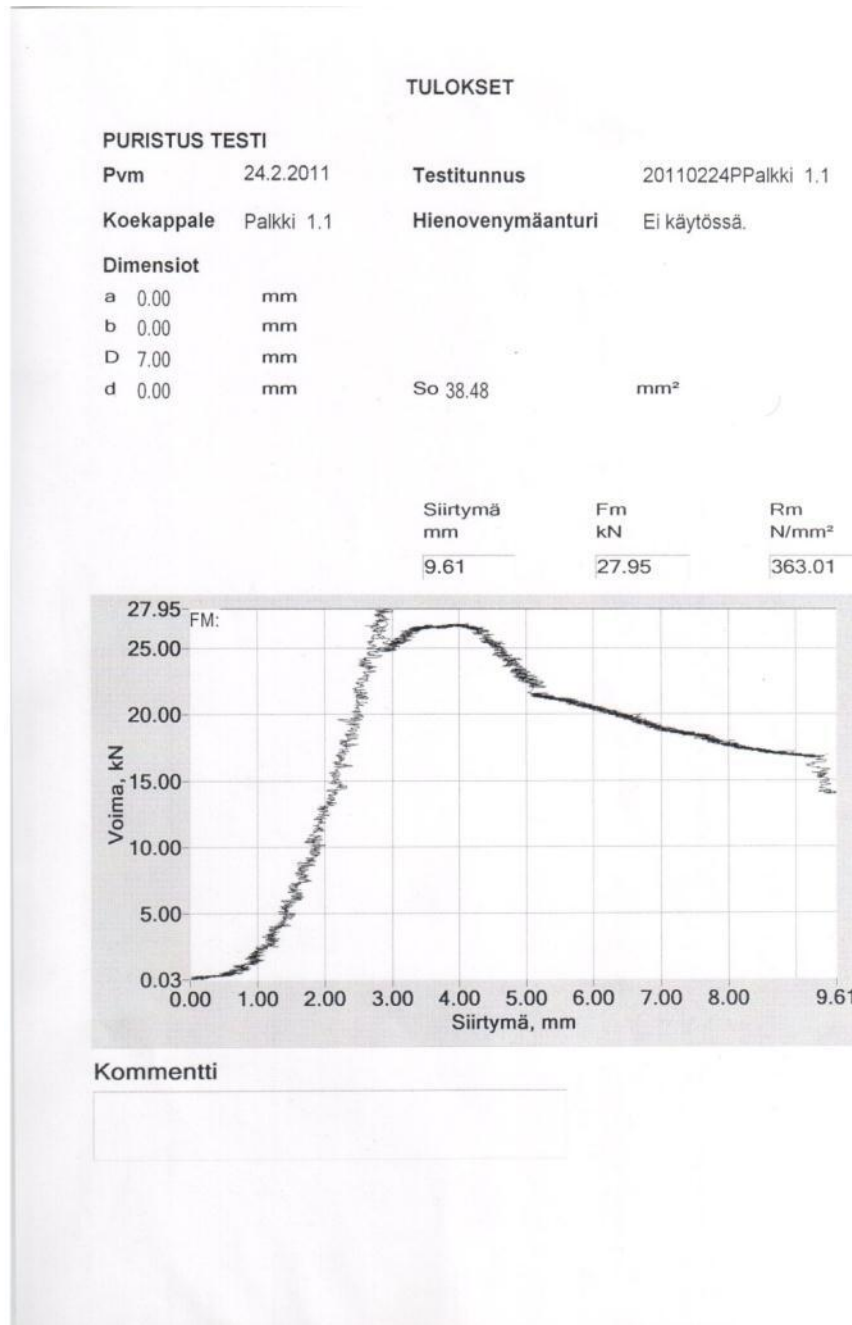


Halkaisijaltaan 600mm pyöreä laatta, paksuus 100mm. Ei käytetty vahvistusta.

1.2. Palkki

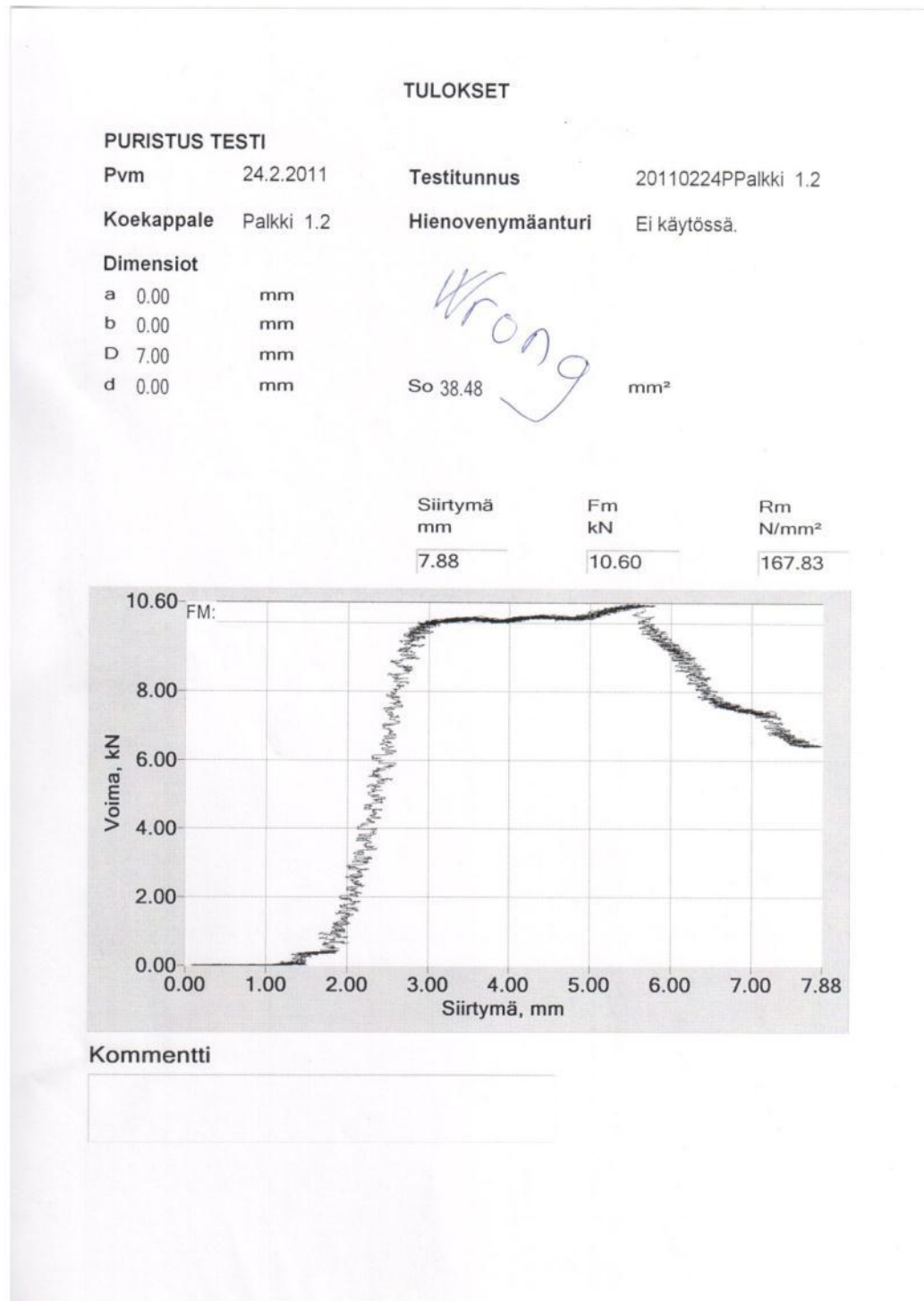
Tyyppi I

1.



Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

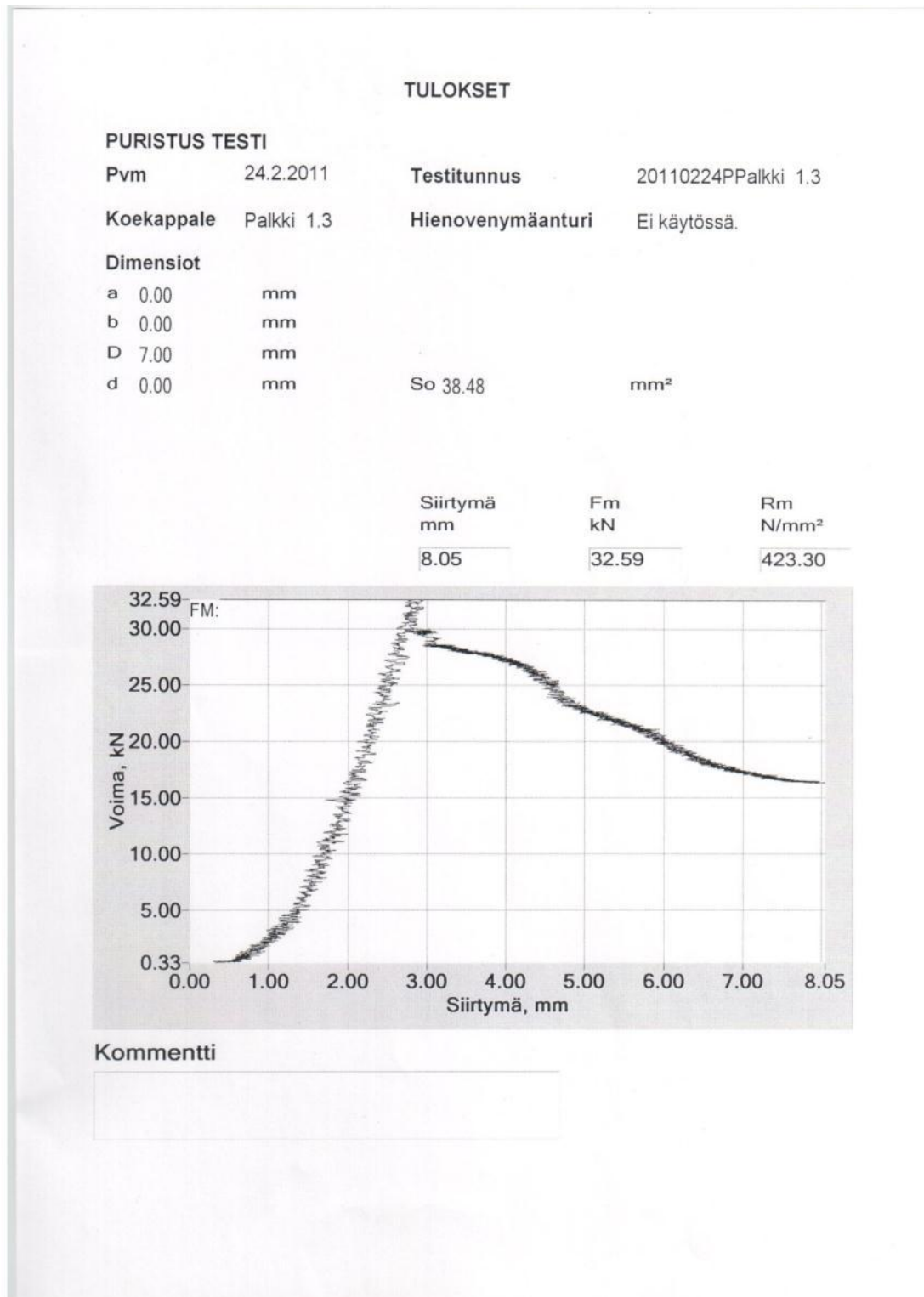
2.



Kooltaan (p*I*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

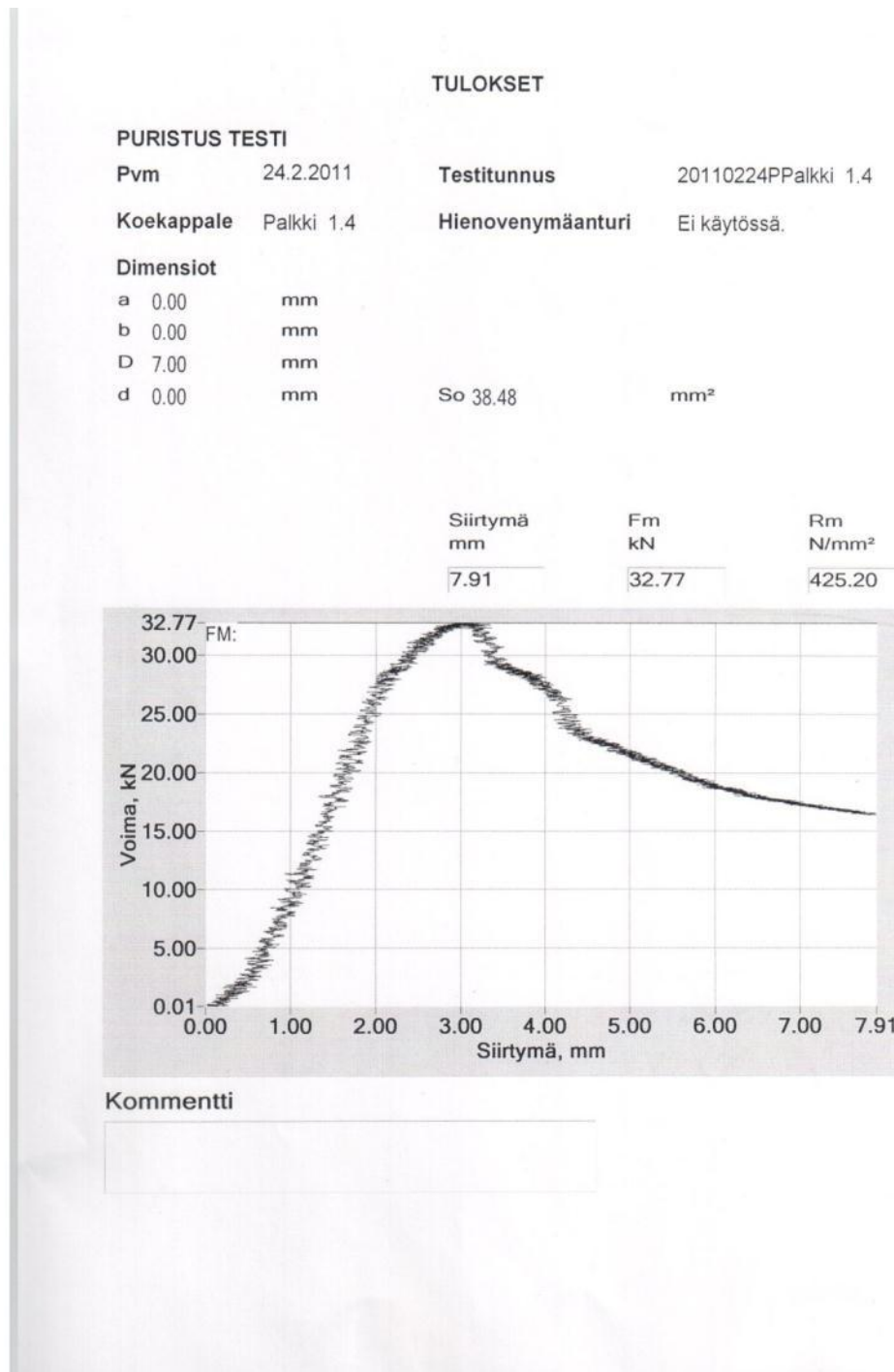
Virheellinen testitulos.

3.



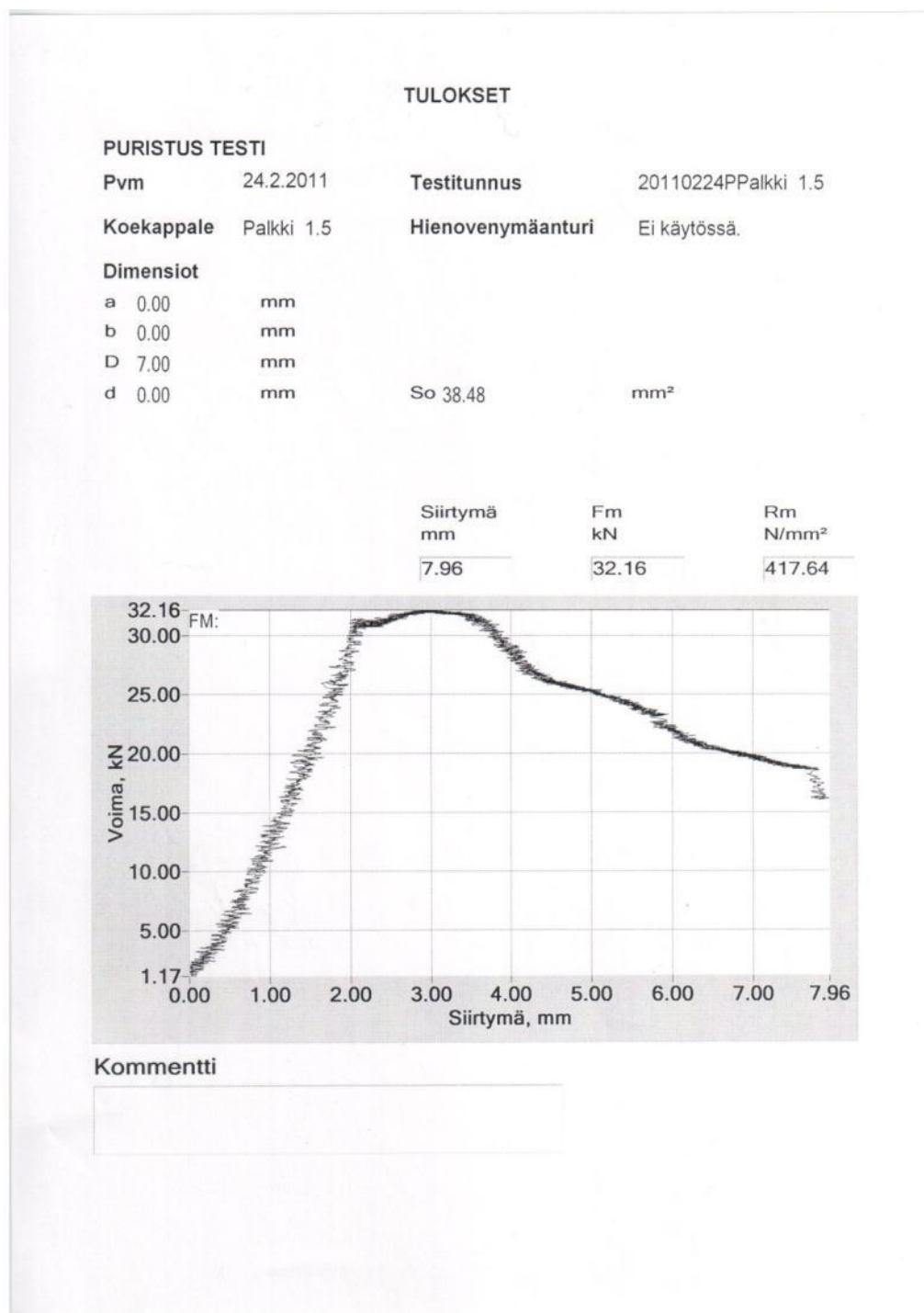
Kooltaan (p*I*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

4.



Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

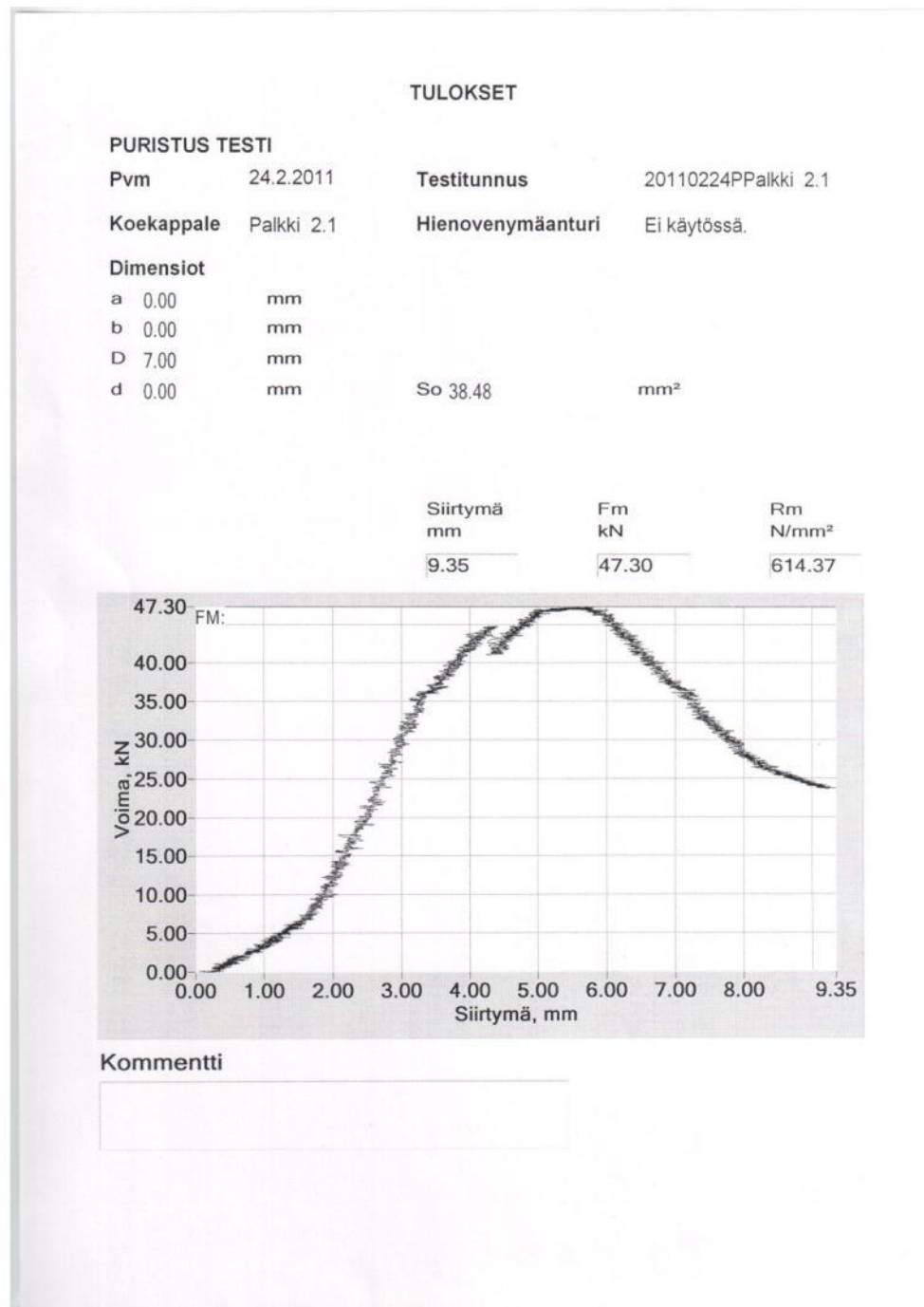
5.



Kooltaan (p*I*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

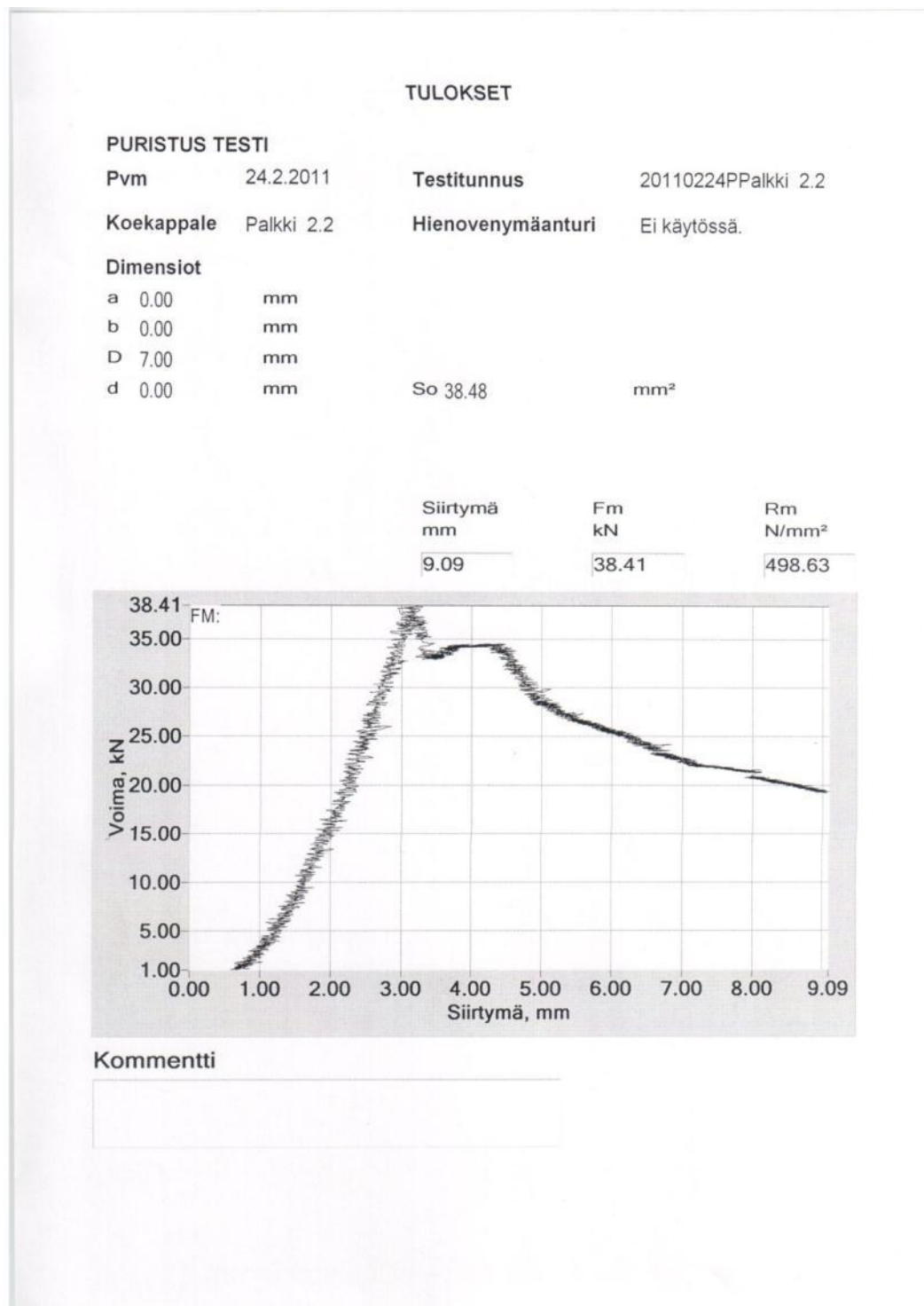
Tyyppi II

1.



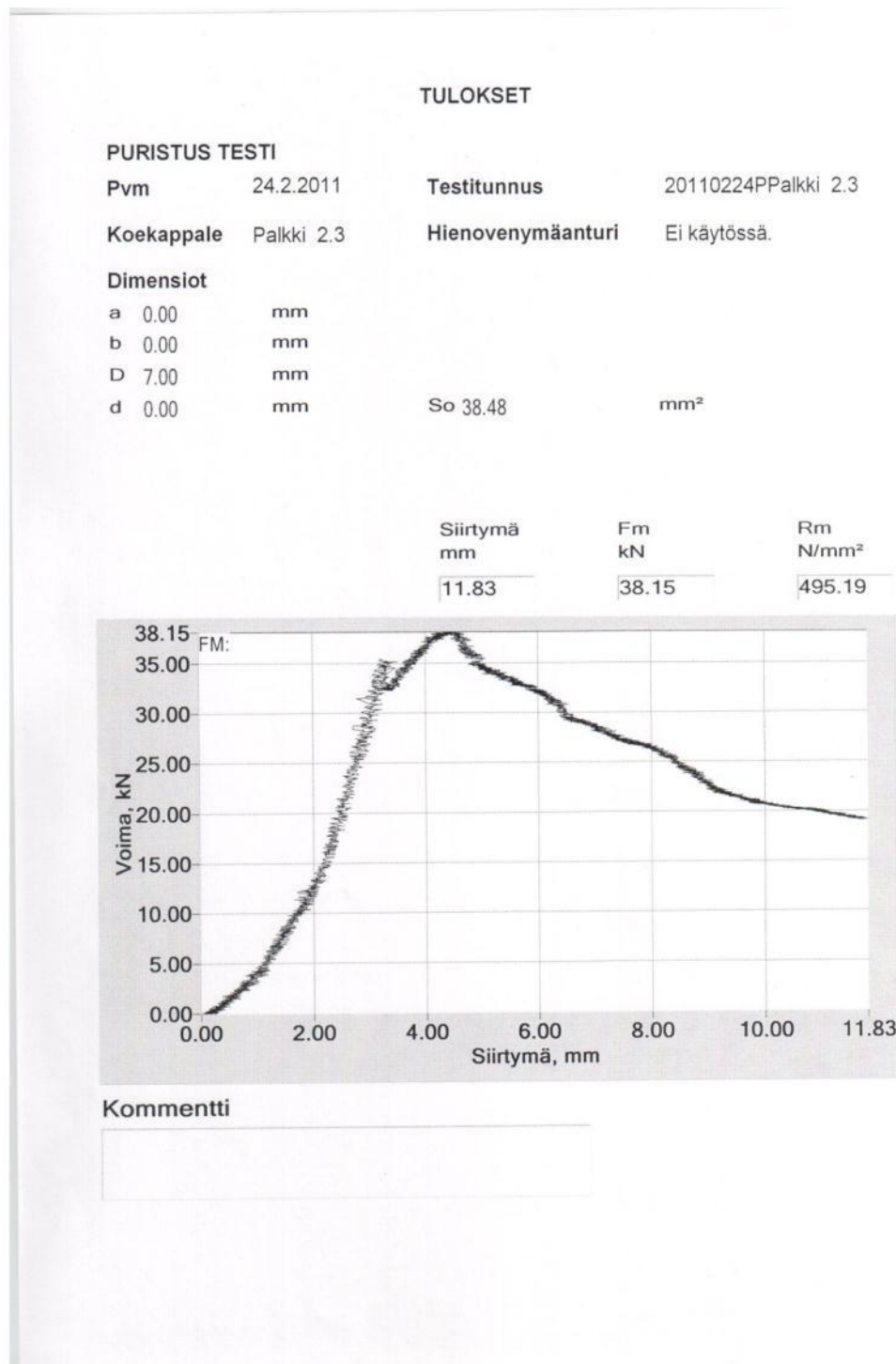
Kooltaan (p*I*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

2.



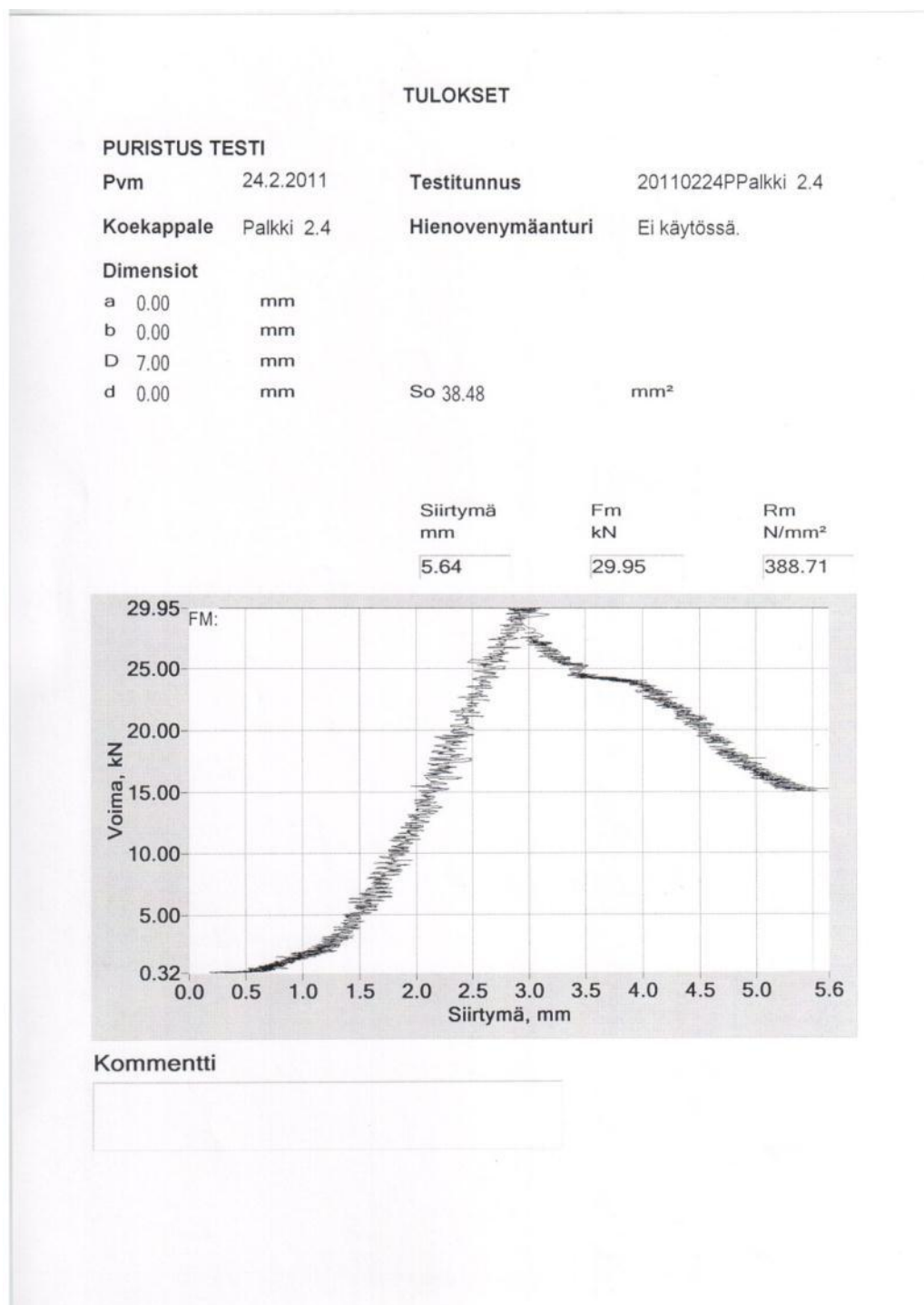
Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

3.



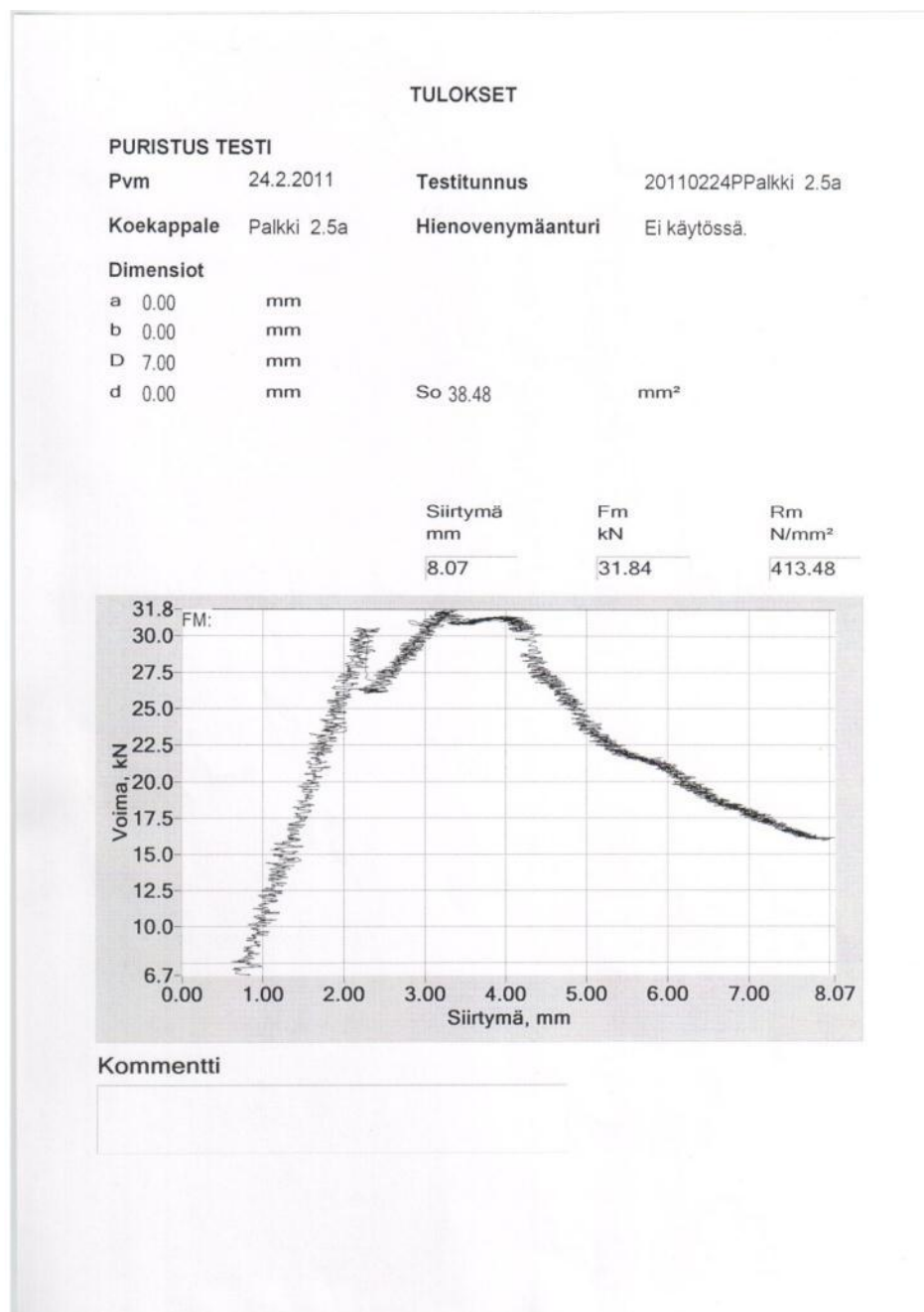
Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

4.



Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

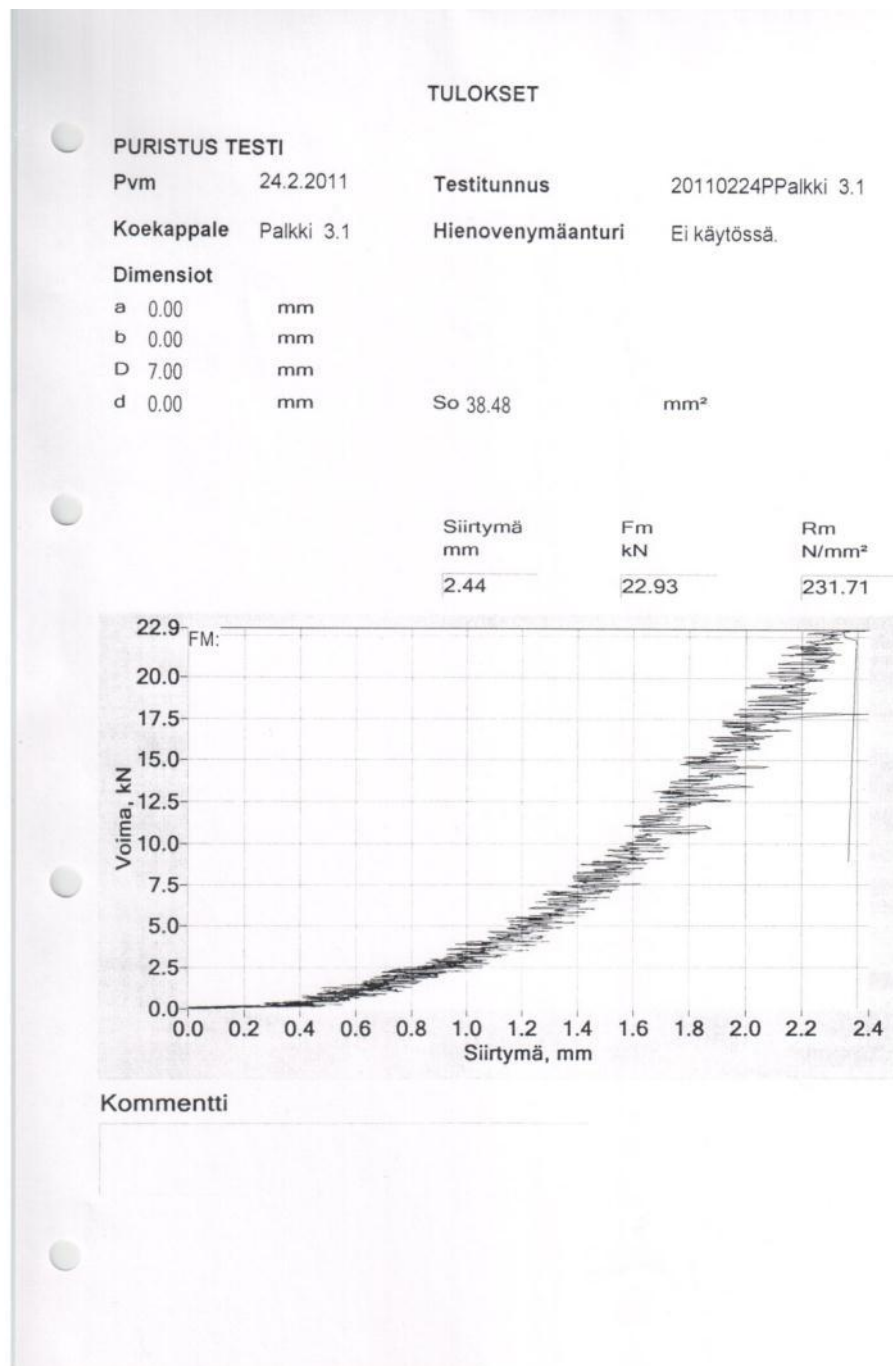
5.



Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Käytetty vahvistus teräskuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

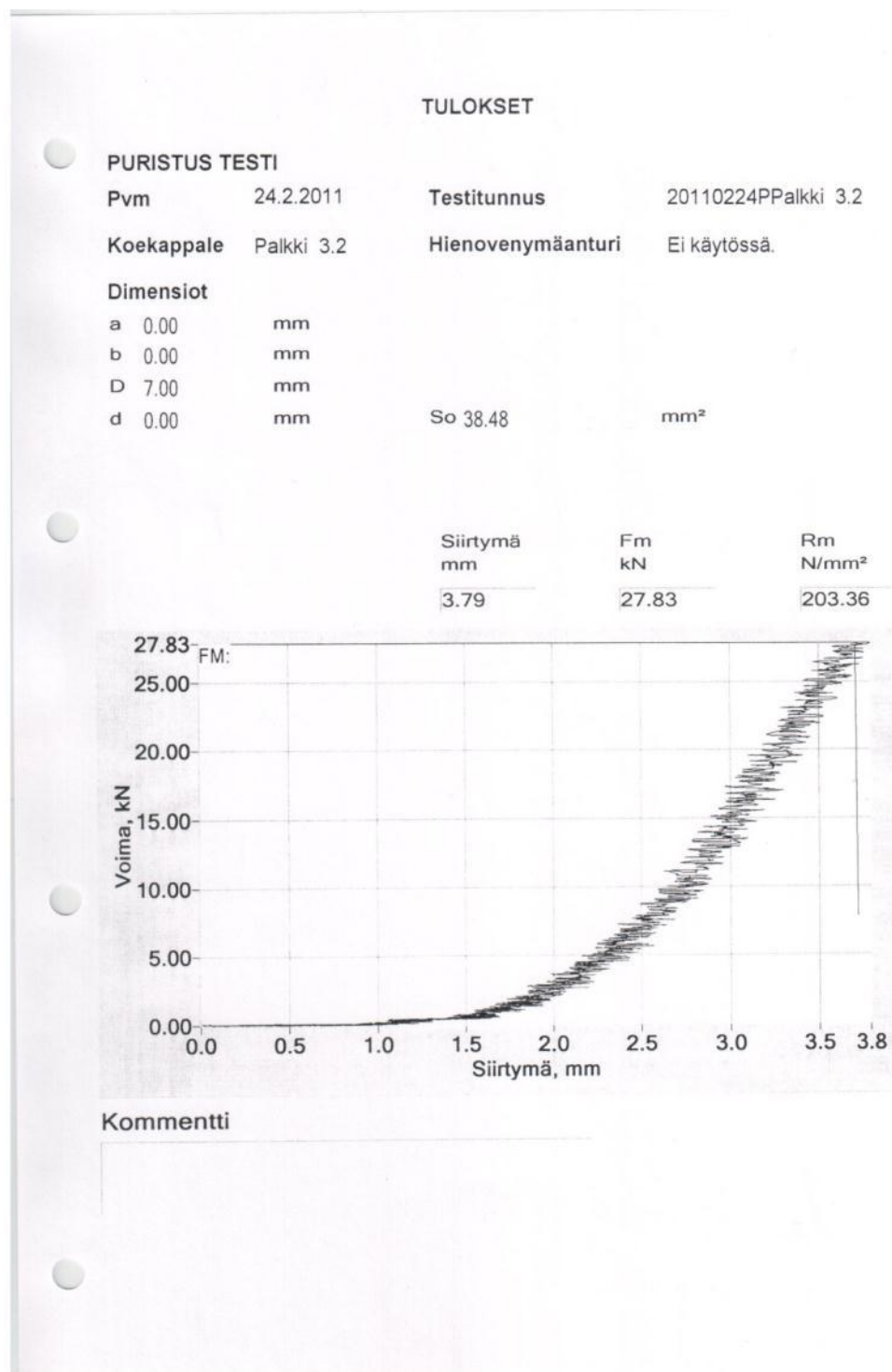
Tyyppi III

1.



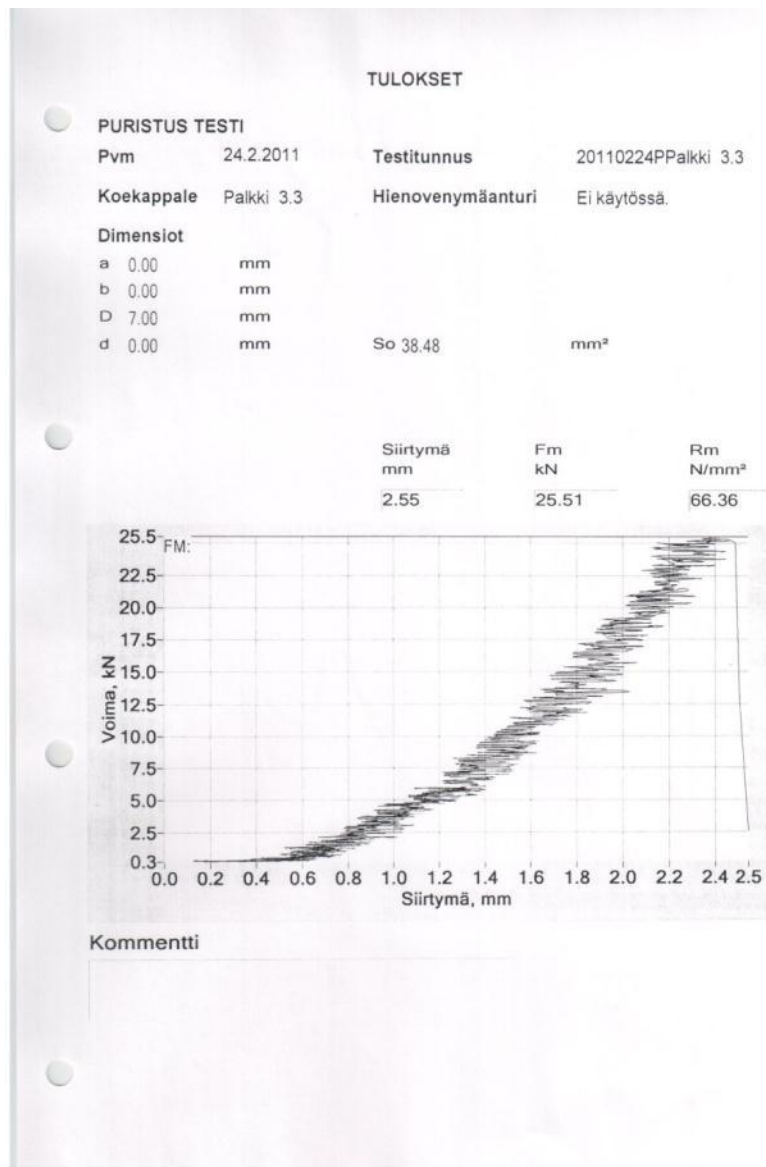
Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Ei käytetty vahvistusta.

2.



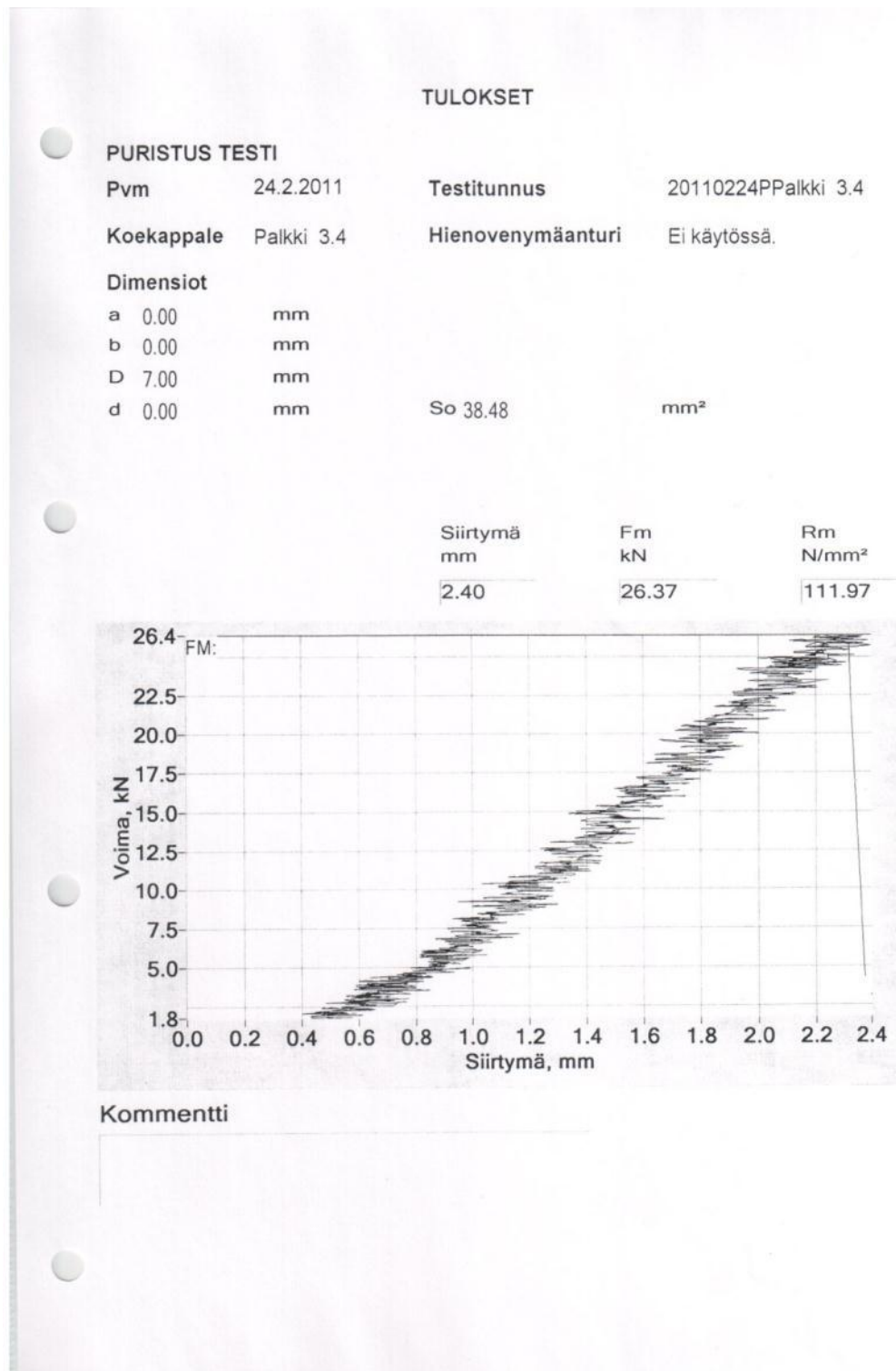
Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Ei käytetty vahvistusta.

3.



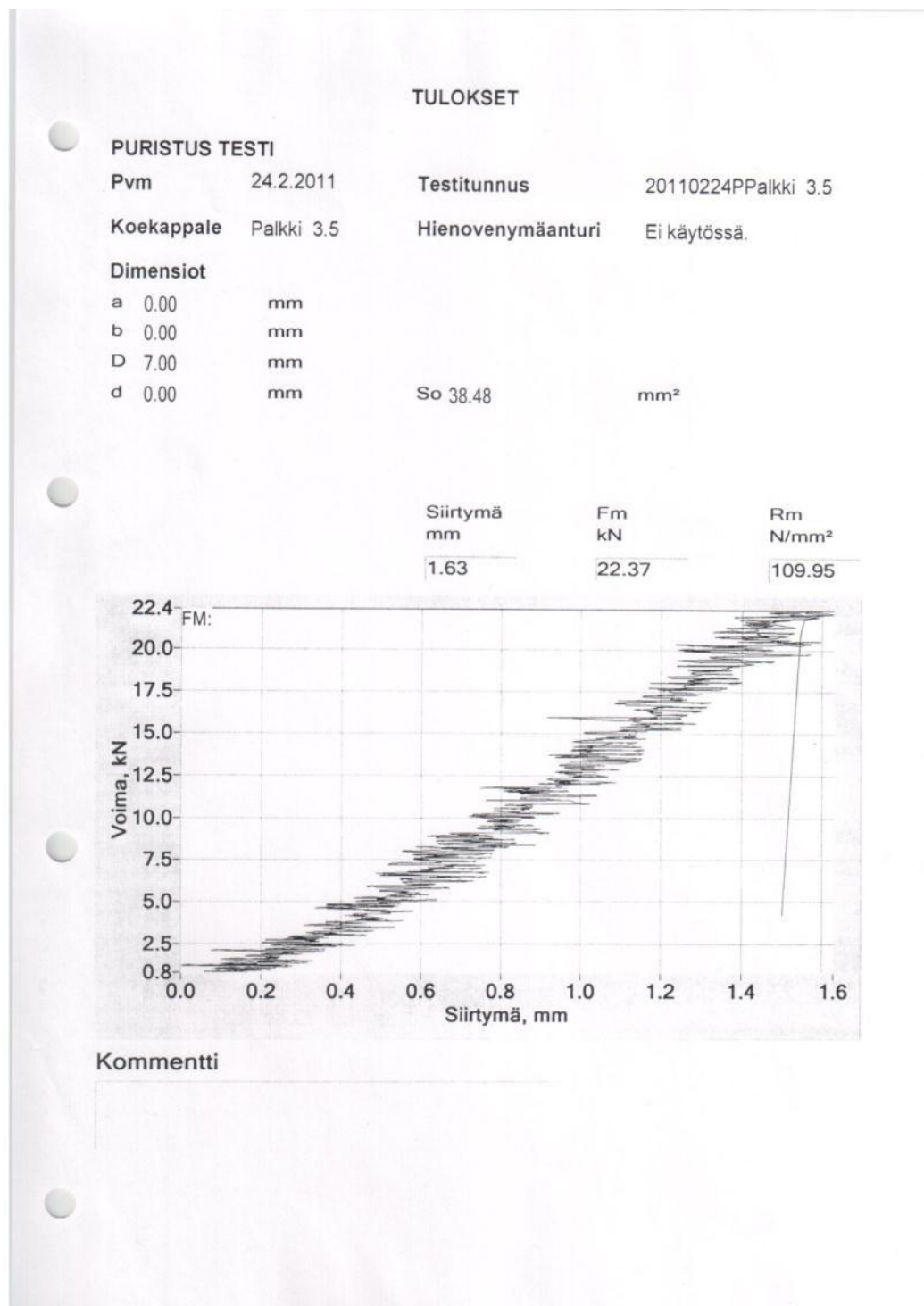
Kooltaan (p*I*k) 600*150*150mm palkki. Ei käytetty vahvistusta.

4.



Kooltaan (p*1*k) 600*150*150mm palkki. Ei käytetty vahvistusta.

5.

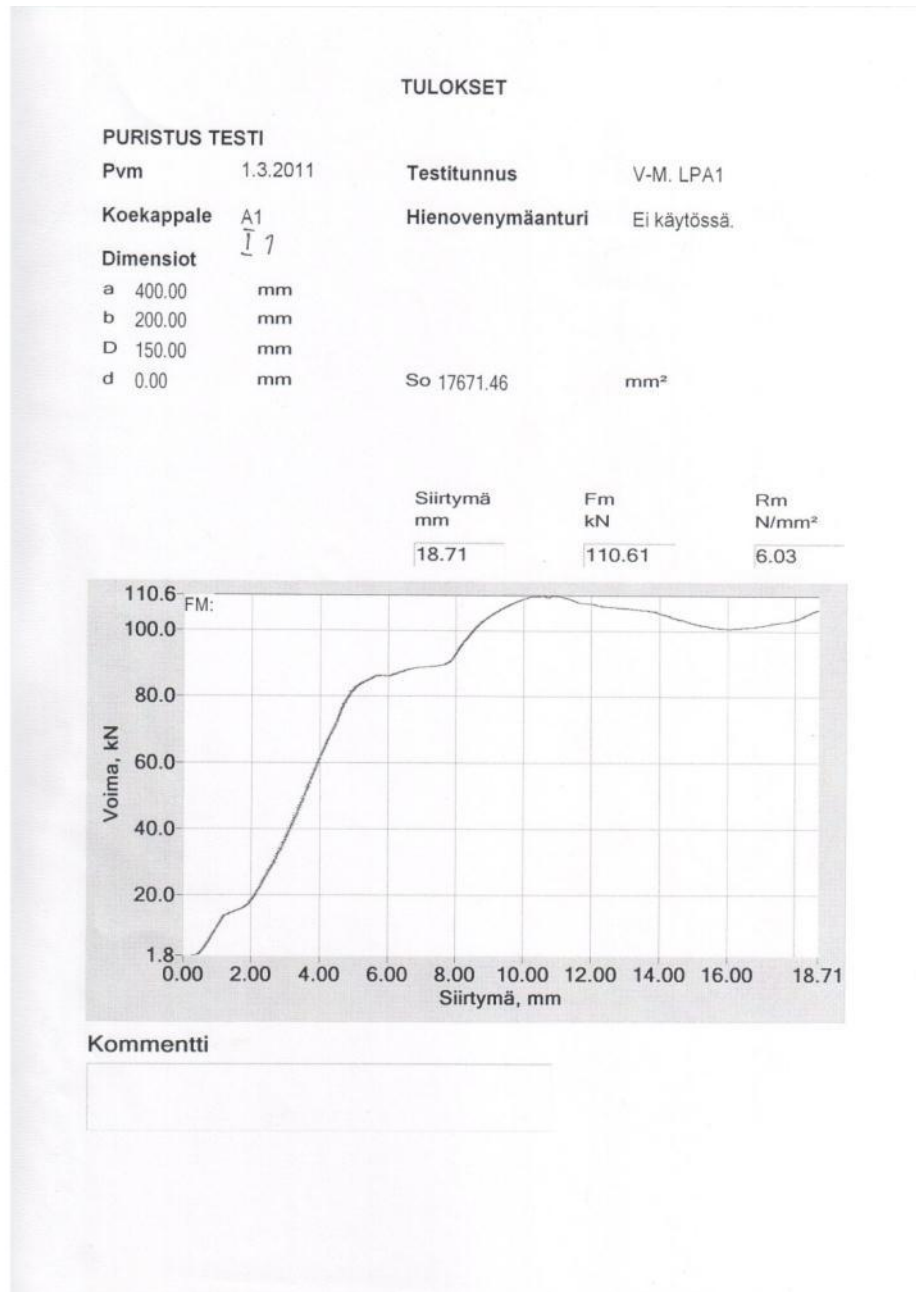


Kooltaan (p*l*k) 600*150*150mm palkki. Ei käytetty vahvistusta.

1.3. 1600 mm laatta

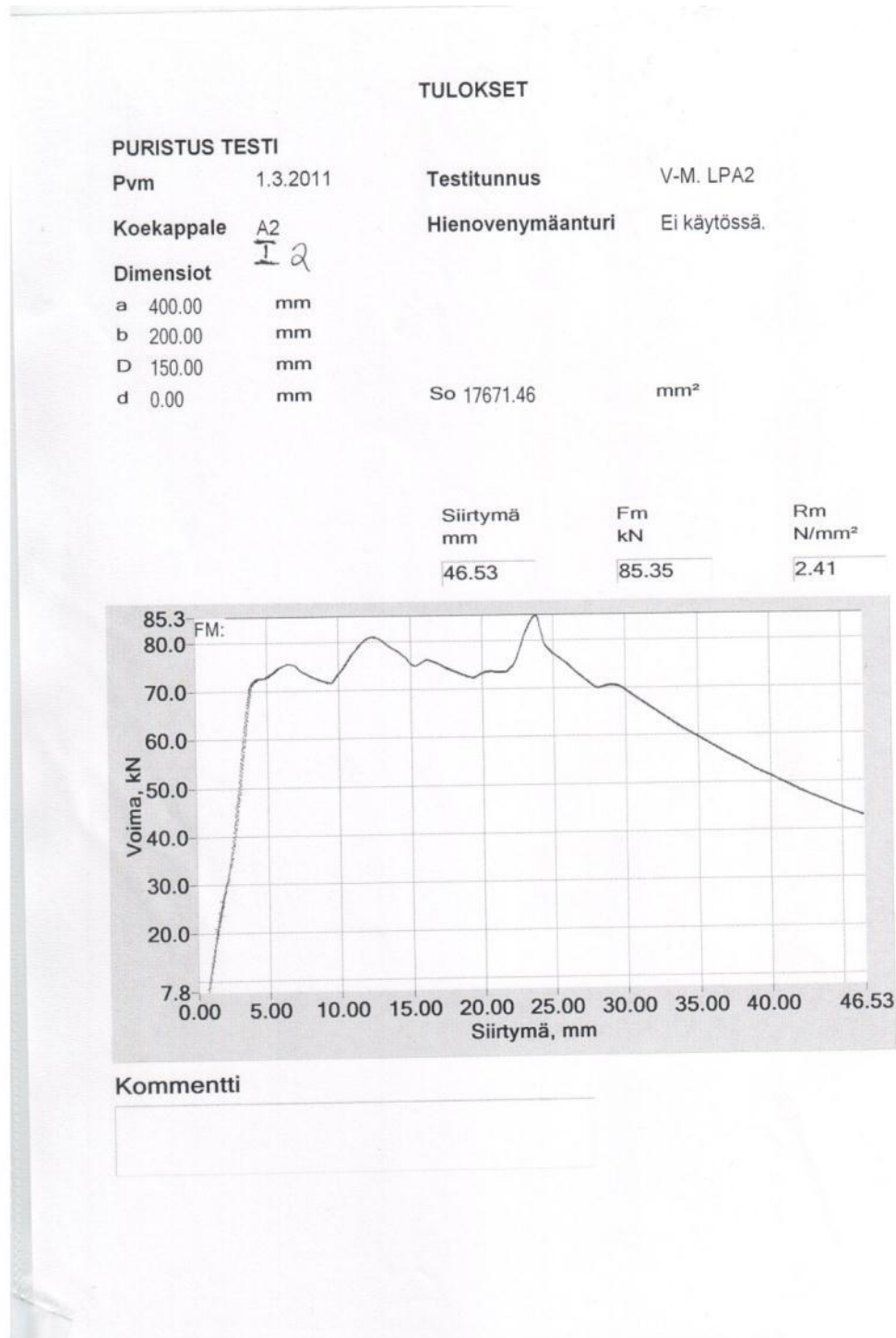
Tyyppi I

1.



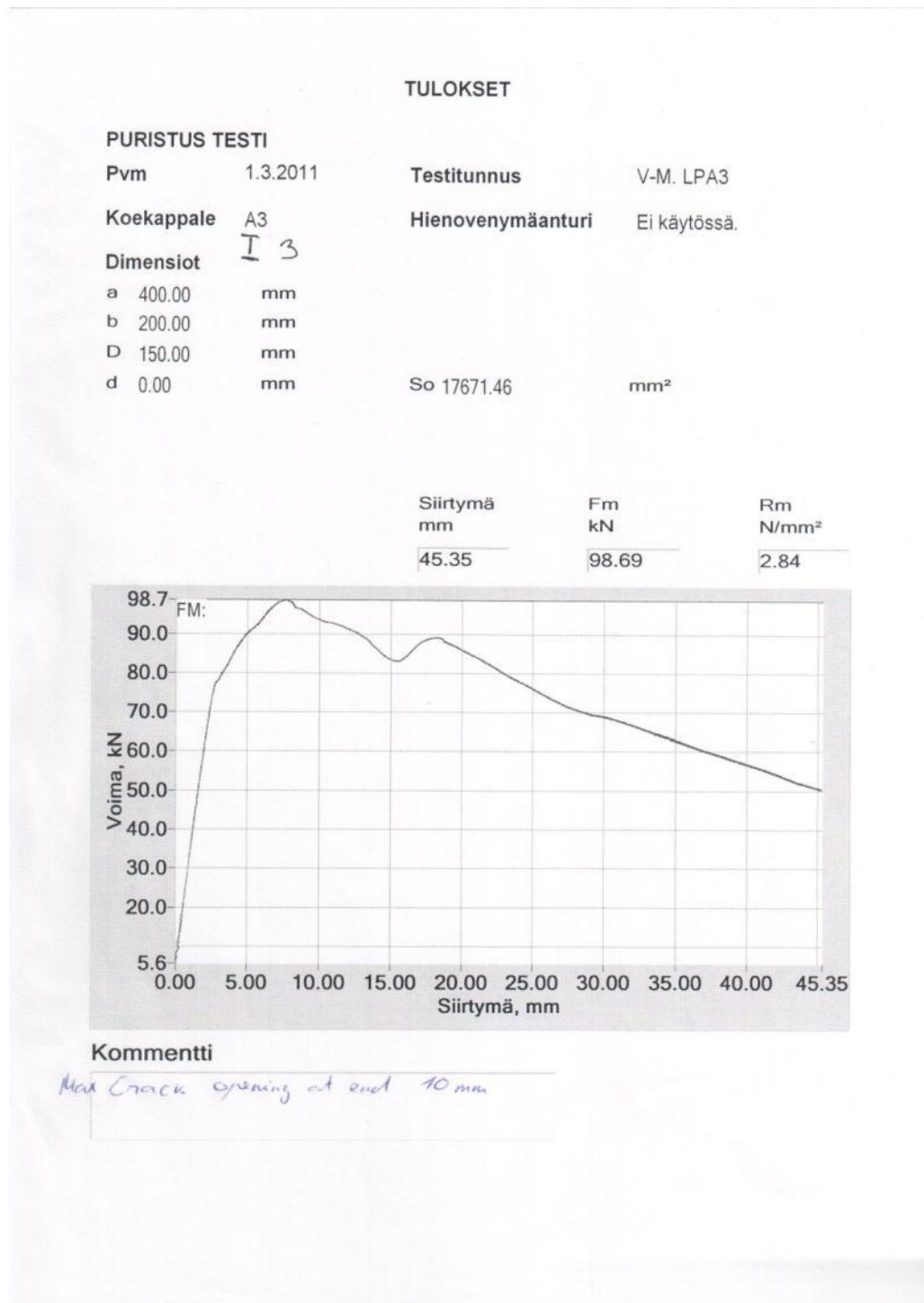
Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

2.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

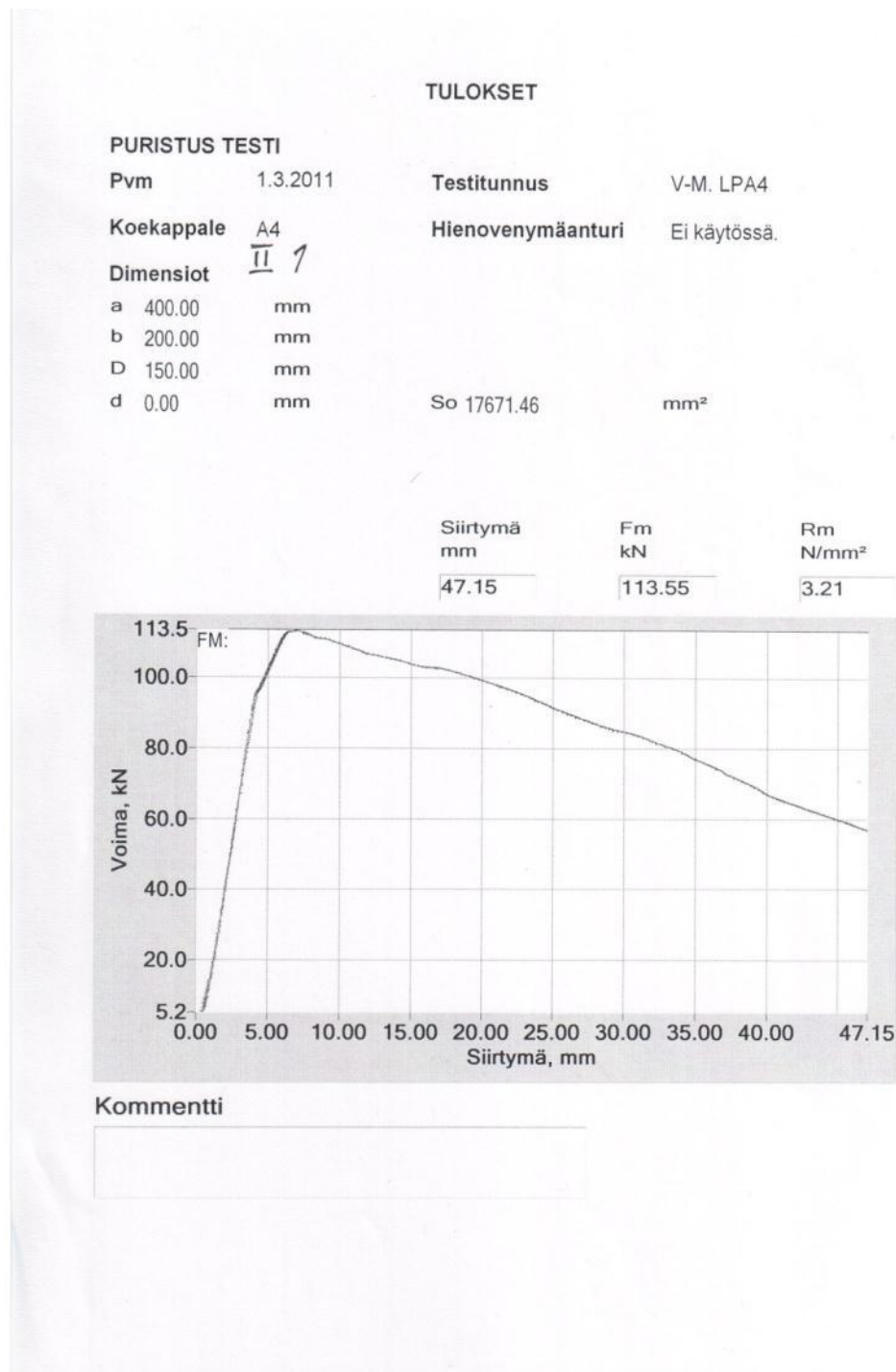
3.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräskuitu 75/50, jota laitettiin 35kg/betoni m³.

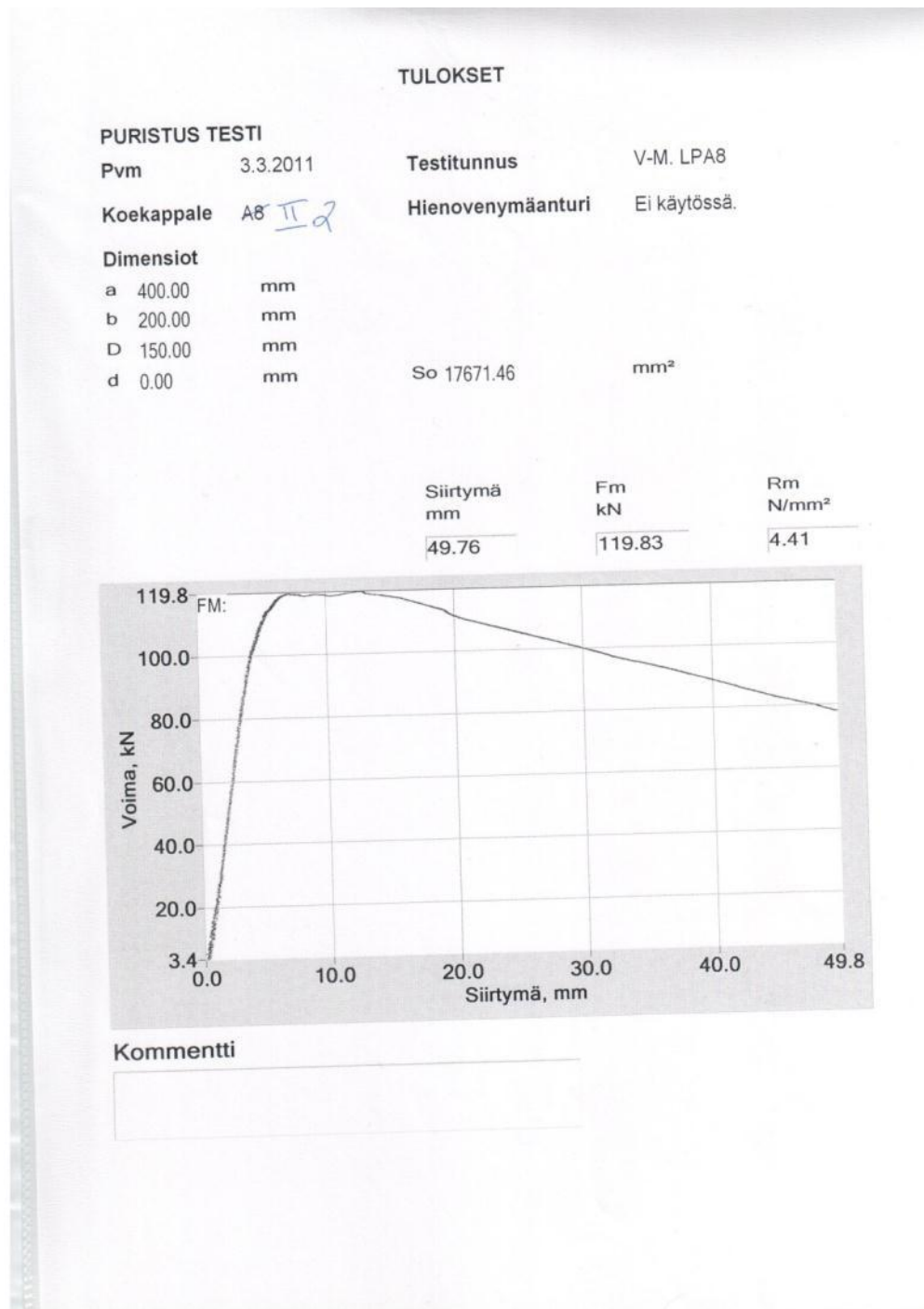
Tyyppi II

1.



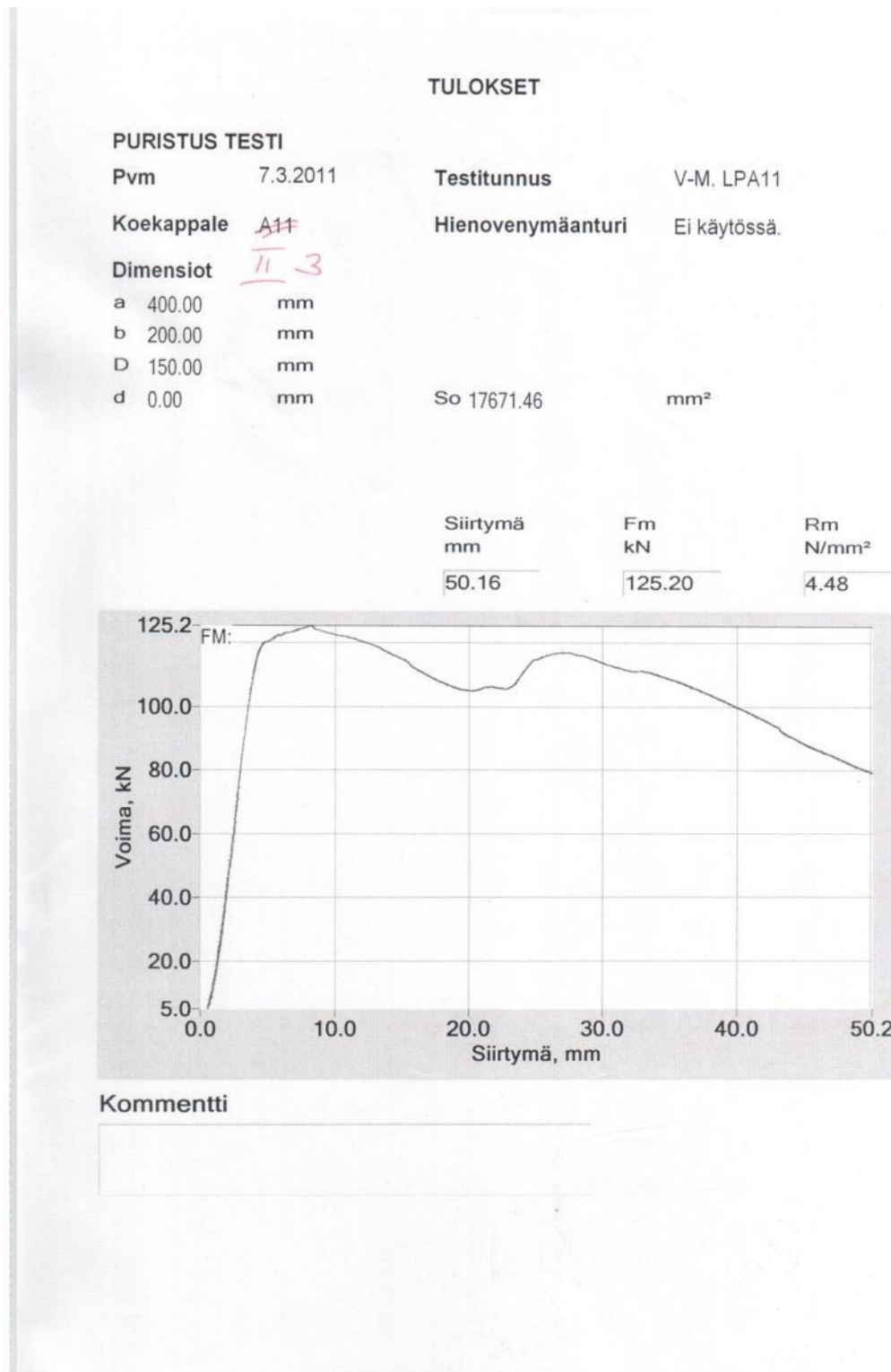
Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

2.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräskuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

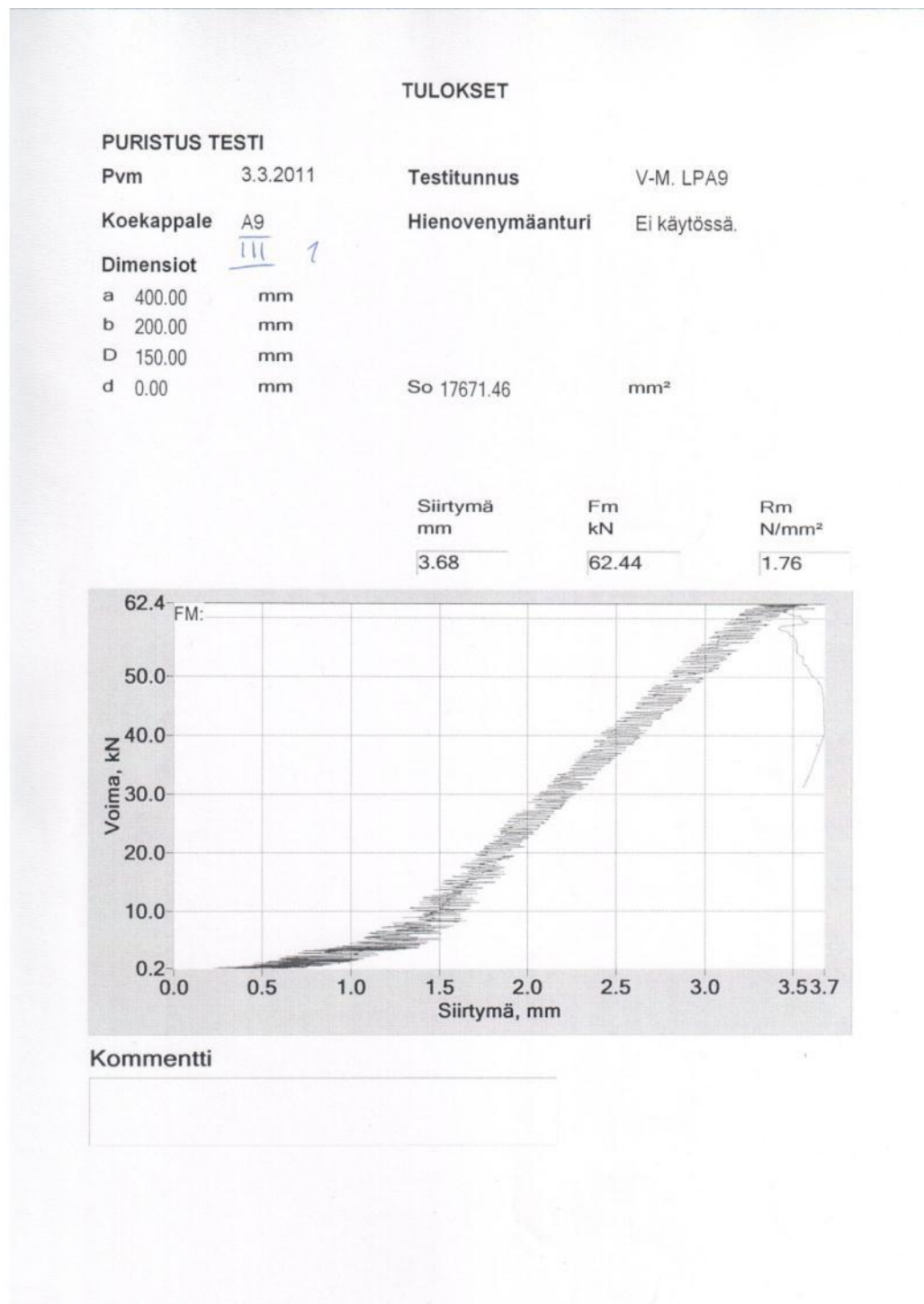
3.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräs-kuitu 1/60, jota laitettiin 50kg/betoni m³.

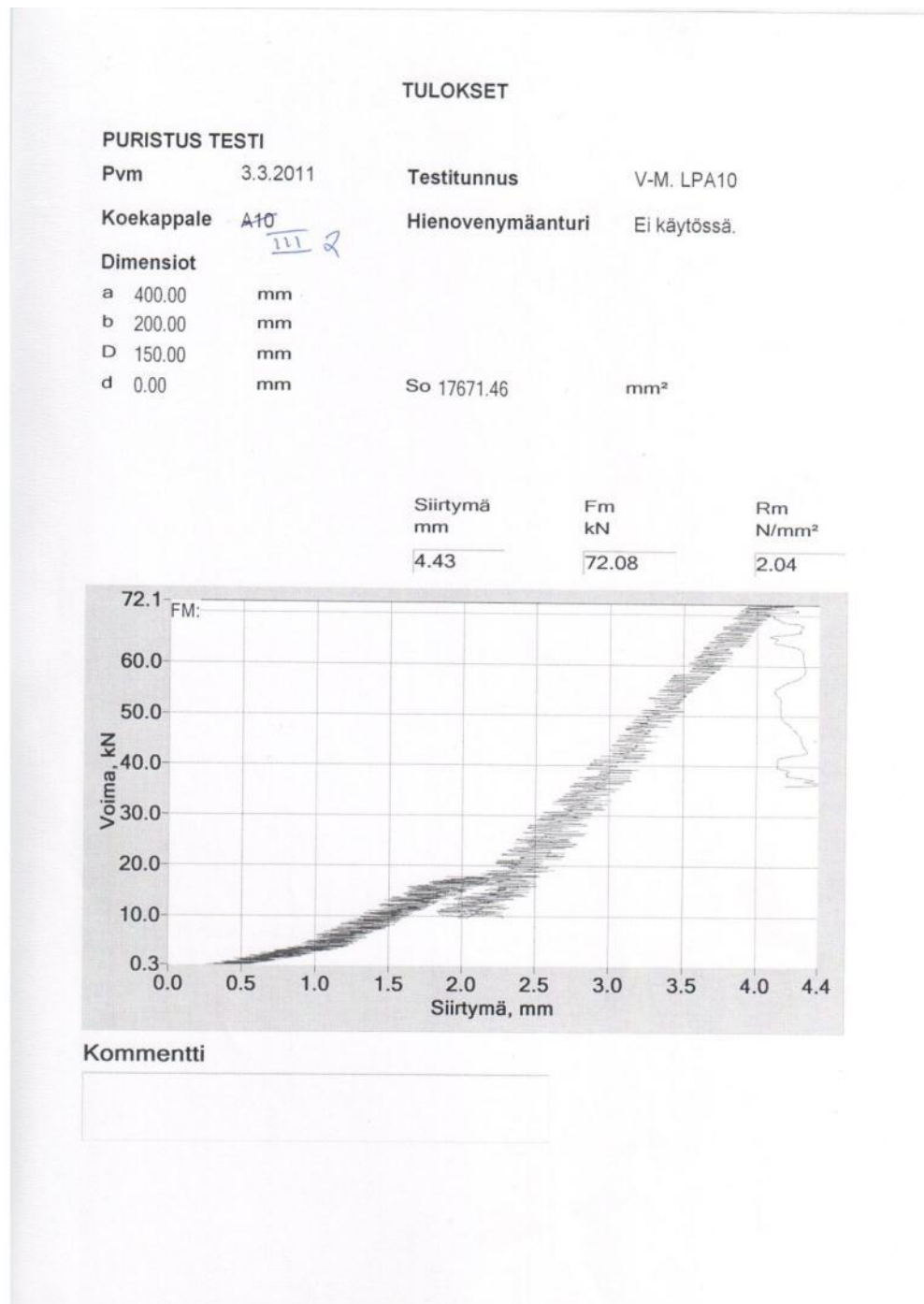
Tyyppi III

1.



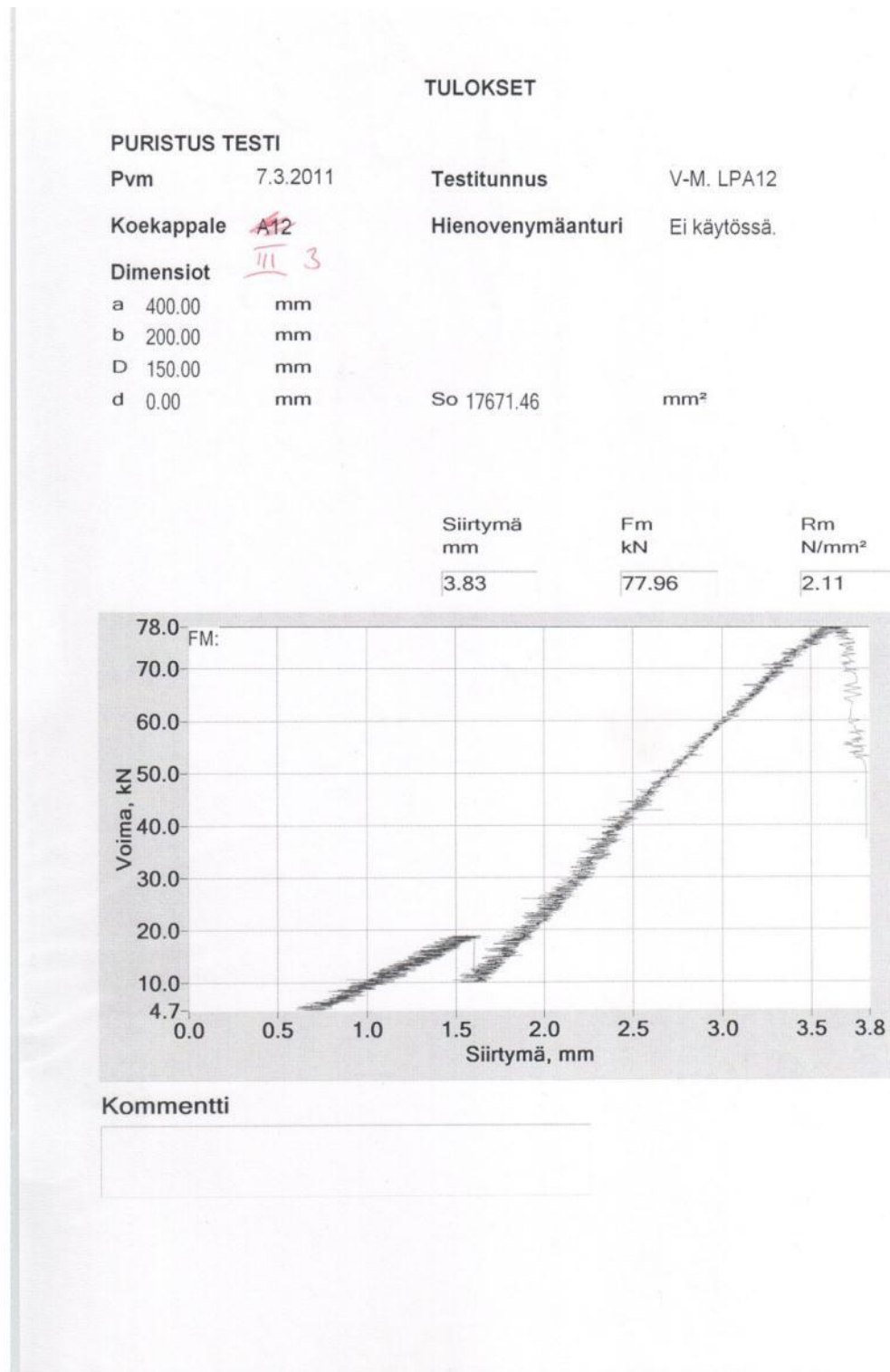
Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Ei käytetty vahvistusta.

2.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Ei käytetty vahvistusta.

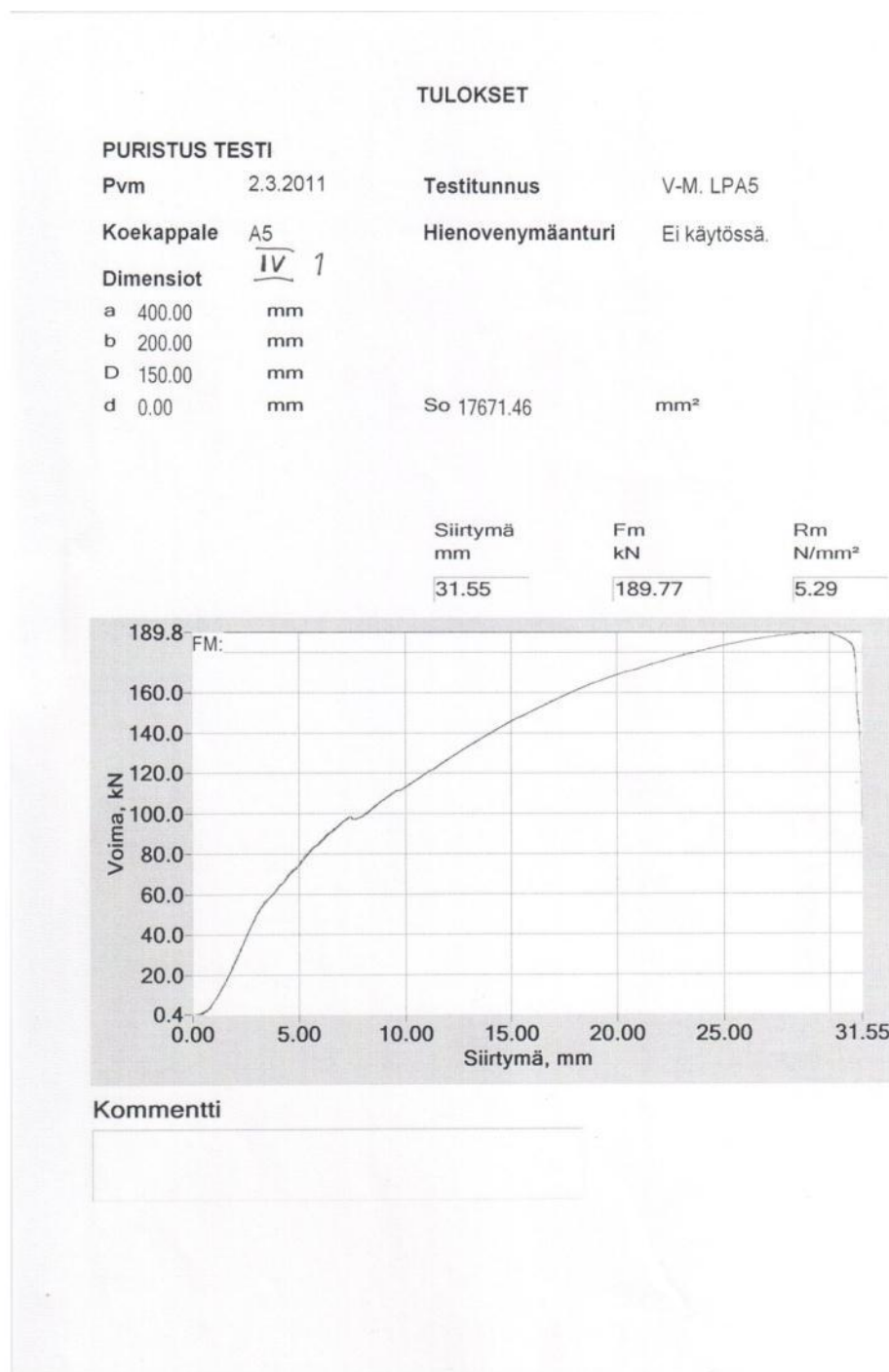
3.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Ei käytetty vahvistusta.

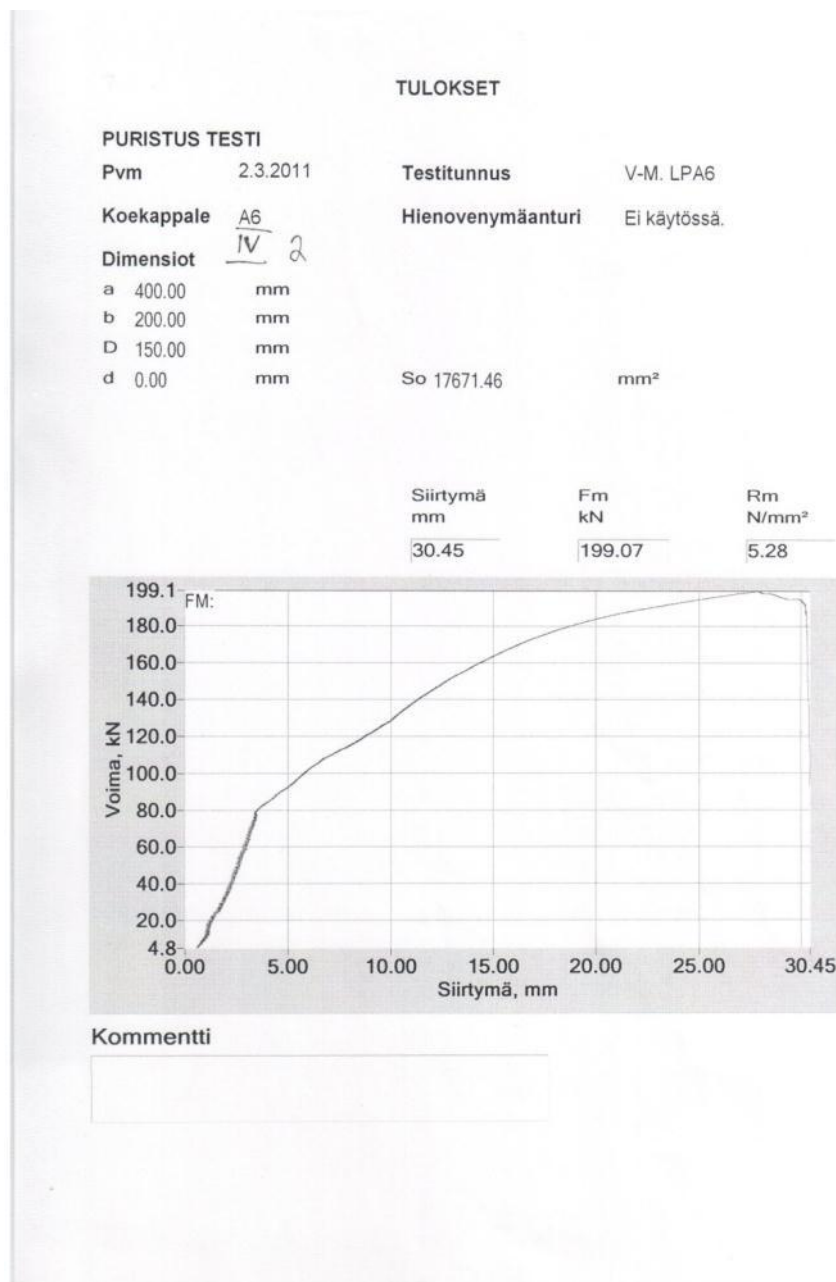
Tyyppi IV

1.



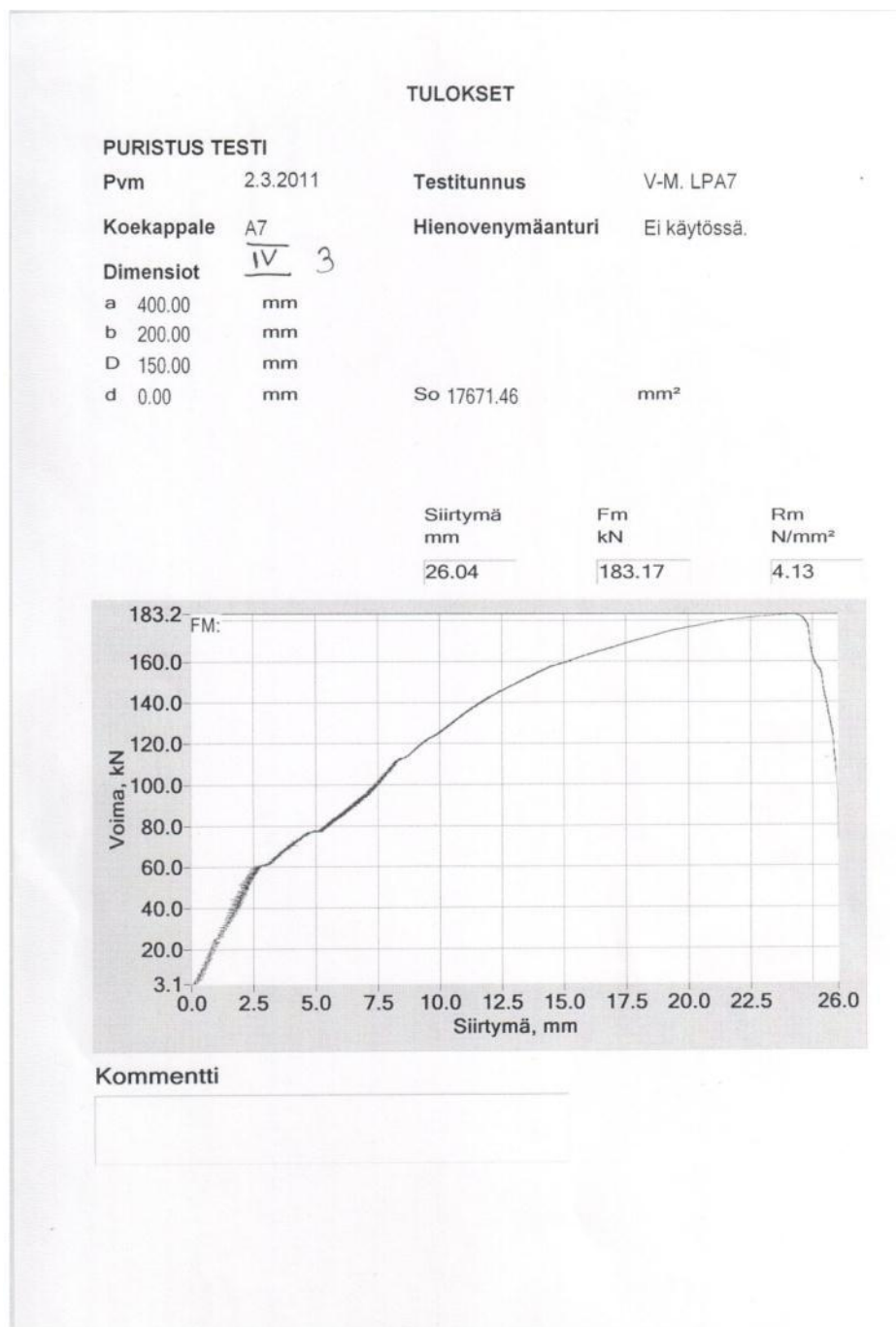
Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräsverkko B500K 8-150.

2.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräsverkko B500K 8-150.

3.



Halkaisijaltaan 1600mm pyöreä laatta, paksuus 150mm. Käytetty vahvistus teräsverkko B500K 8-150.

1. LIITEKUVAT



Kuva 3. 600mm muottien pohjan peitimme rakennusmuovilla, joten laatat irtosivat todella helposti ja muotit säilyivät ehjinä.



Kuva 4. Muotit sijoitettiin valualueelle tyypeittäin, mikä helpotti valua sekä valmiiden muottien merkitsemistä ennen siirtoa testilaboratorioon.



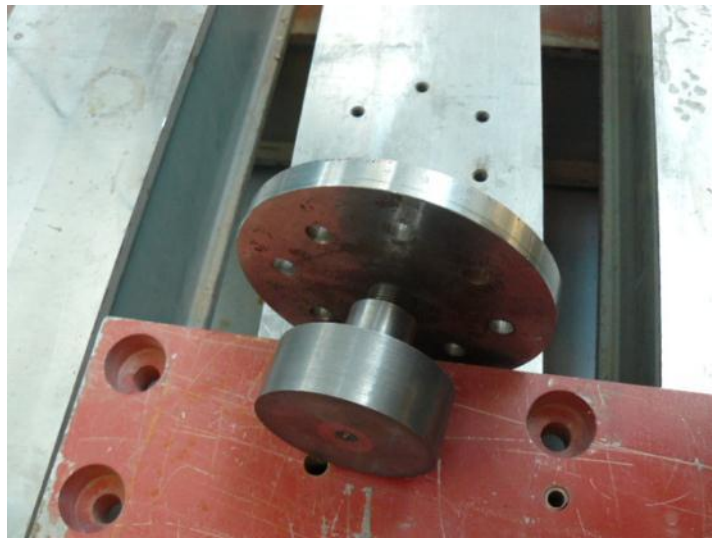
Kuva 5. Suuret muotit sijoitimme siten, että saimme betonimassan suoraan Prim-dumperista muotteihin. Tällä tavoin säästimme aikaa ja ruumiillisen työn tarvetta.



Kuva 7. Projektipalvelu Tila Oy toimitti juuri mittoihin sopivan valurautarenkaan, sisähalkaisijaltaan 500mm ja seinämä paksuudeltaan 5mm.



Kuva 9. Suurten (1600mm) laattojen testaamiseen tarvittiin sylinterin karaan laipalla kiinnitettävä 150mm halkaisijaltaan oleva umpiteräksinen kärki.



Kuva 10. 600mm pyöreiden laattojen puristamiseen ohjeen mukaan tuli käyttää 100mm halkaisijaltaan olevaa kärkeä.



Kuva 13. Suurten 1600mm laattojen puristusaluksena käytettiin 1500mm sisähalkaisijaltaan olevaa betonista valmistettua kaivonrengasta.



Kuva 14. Betonirenkaan reuna oli tarkoitukseemme aivan liian epätasainen ja karkea. Tasoitin reunan ja täytin reunassa olevat kolot kaksikomponenttimassalla, mikä oli lujuudeltaan betonin kaltaista.



Kuva 15. 1600 mm laattojen keskikohdan merkitsin 800mm pitkällä piirtoraudalla 6:sta eri kohdasta laatan reunoilta.



Kuva 16. Keskipisteestä piirsin 150mm halkaisijaltaan olevan ympyrän, josta pystyimme keskittämään puristuskohdan tarkalleen.

2. TESTAUSKUVAT

2.1. Palkit

Tyyppi I teräskuitu 75/50, 35kg/m³.



Testauskuva 1. Painuma 9,61 mm, voima 27,95 kN.



Testauskuva 2. Virheellinen tulos (Testi liian nopea). Painuma 7.88 mm, voima 10.60 kN3.



Testauskuva 3. Painuma 8.05 mm, voima 32.59 kN.



Testauskuva 4. Painuma 7.91 mm, voima 32.77 kN.



Testauskuva 5. Painuma 7.96 mm, voima 32.16 kN.

Tyyppi II teräskuitu 1/60, 50kg/m³.



Testauskuva 6. Painuma 9.35 mm, voima 47.30 kN.



Testauskuva 7. Painuma 9.09 mm, voima 38.41 kN.



Testauskuva 8. Painuma 11.83 mm, voima 38.15 kN.



Testauskuva 9. Painuma 5.64 mm, voima 29.95 kN.



Testauskuva 10. Painuma 8.07 mm, voima 31.84 kN.

Tyyppi III ei vahvistusta.



Testauskuva 11. Painuma 2.44 mm, voima 22.93 kN.



Testauskuva 12. Painuma 3.79 mm, voima 27.83 kN.



Testauskuva 13. Painuma 2.55 mm, voima 25.51 kN.



Testauskuva 14. Painuma 2.40 mm, voima 26.37 kN.



Testauskuva 15. Painuma 1.63 mm, voima 22.37 kN.

2.2. Pyöreät laatat 600mm

Tyyppi I teräskuitu 75/50, 35kg/m³.



Testauskuva 16. Virheellinen tulos (liian lyhyt testiaika), painuma 12.92 mm ja voima 84.71 kN.



Testauskuva 17. Painuma 21.86 mm, voima 77.09 kN.



Testauskuva 18. Painuma 19.65 mm, voima 90.49 kN.



Testauskuva 19. Painuma 20.77 mm, voima 76.15 kN.



Testauskuva 20. Painuma 17.58 mm, voima 75.76 kN.

Tyyppi II teräskuitu 1/60, 50kg/m³.



Testauskuva 21. Painuma 16.75 mm, voima 86.21 kN.



Testauskuva 22. Painuma 16.47 mm, voima 75.71 kN.



Testauskuva 23. Painuma 21.06 mm, voima 69.29 kN.



Testauskuva 24. Painuma 14.94 mm, voima 76.61 kN.



Testauskuva 25. Painuma 22.78 mm, voima 80.90 kN.

Tyyppi III ei vahvistusta.



Testauskuva 26. Painuma 3.23 mm, voima 55.55 kN.



Testauskuva 27. Painuma 2.05 mm, voima 48.00 kN.



Testauskuva 28. Painuma 3.55 mm, voima 54.16 kN.



Testauskuva 29. Painuma 3.14 mm, voima 54.70 kN.



Testauskuva 30. Painuma 2.92 mm, voima 53.18 kN.

2.3. Pyöreät laatat 1600mm

Tyyppi I teräskuitu 75/50, 35kg/m³.



Testauskuva 31. Painuma 18.71 mm, voima 110.61 kN.

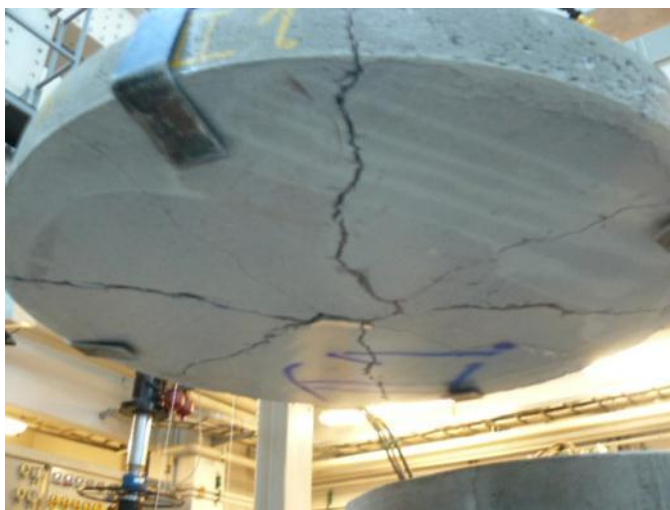


Testauskuva 32. Painuma 46.53 mm, voima 85.35 kN.



Testauskuva 33. Painuma 45.35 mm, voima 98.69 kN.

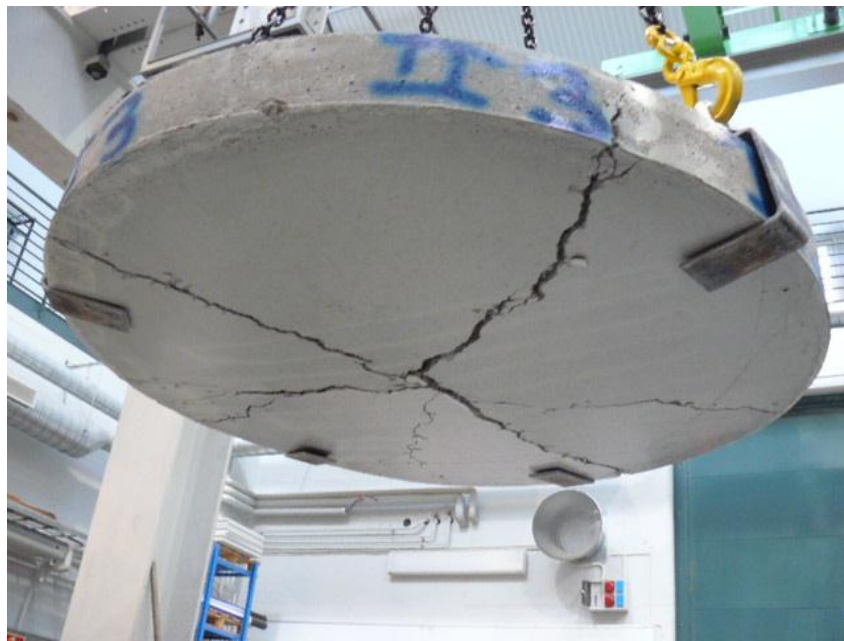
Tyyppi II teräskuitu 1/60, 50kg/m³.



Testauskuva 34. Painuma 47.15 mm, voima 113.55 kN.



Testauskuva 35. Painuma 49.76 mm, voima 119.83 kN.



Testauskuva 36. Painuma 50.16 mm, voima 125.20 kN.

Tyyppi III ei vahvistusta.



Testauskuva 37. Painuma 3.68 mm, voima 62.44 kN.



Testauskuva 38. Painuma 4.43 mm, voima 72.08 kN.



Testauskuva 39. Painuma 3.83 mm, voima 77.96 kN.

Tyyppi VI teräsverkko B500K 8-150.



Testauskuva 40. Painuma 31.55 mm, voima 189.77 kN.



Testauskuva 41. Painuma 30.45 mm, voima 199.07 kN.

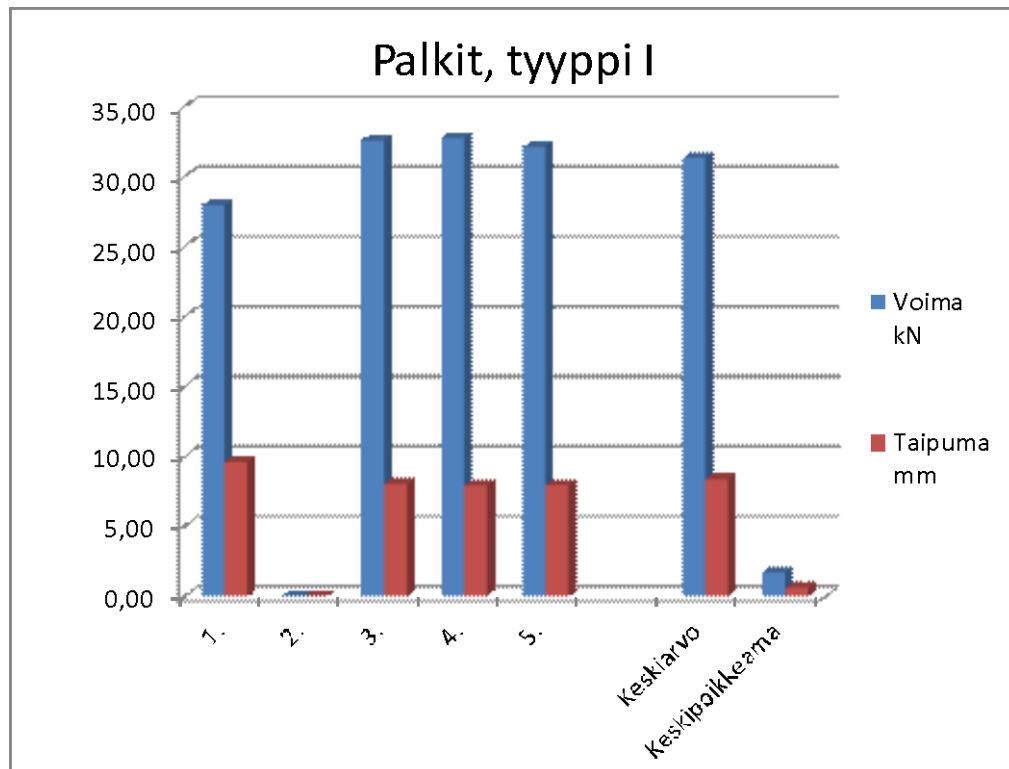


Testauskuva 42. Painuma 26.04 mm, voima 183.17 kN.

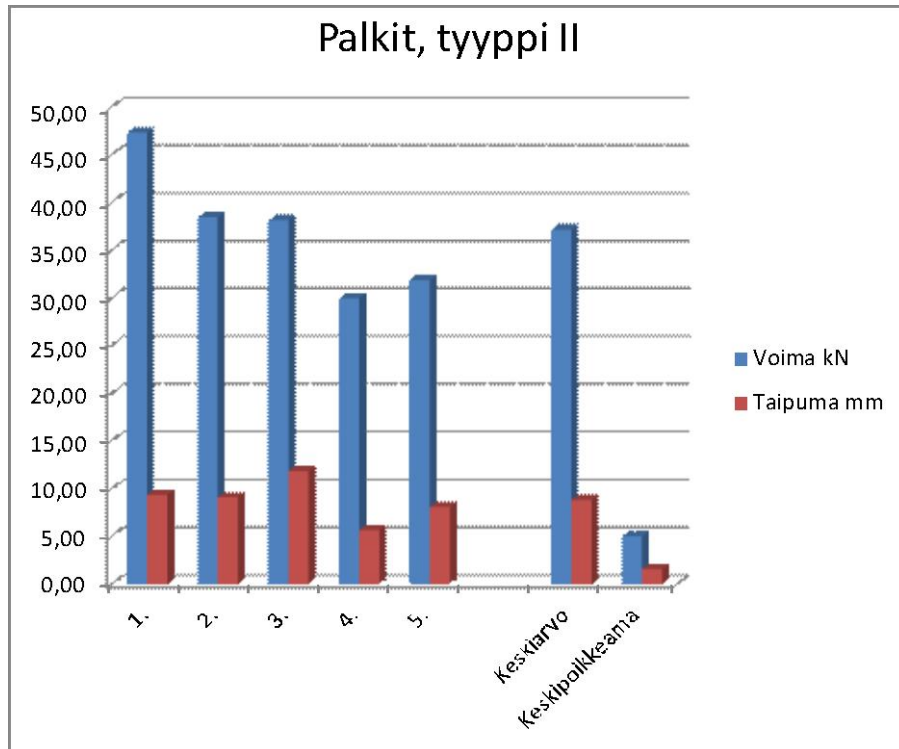
3. TESTITULOSTEN YHTEENVETO JA KAAVIOT

3.1. Palkit

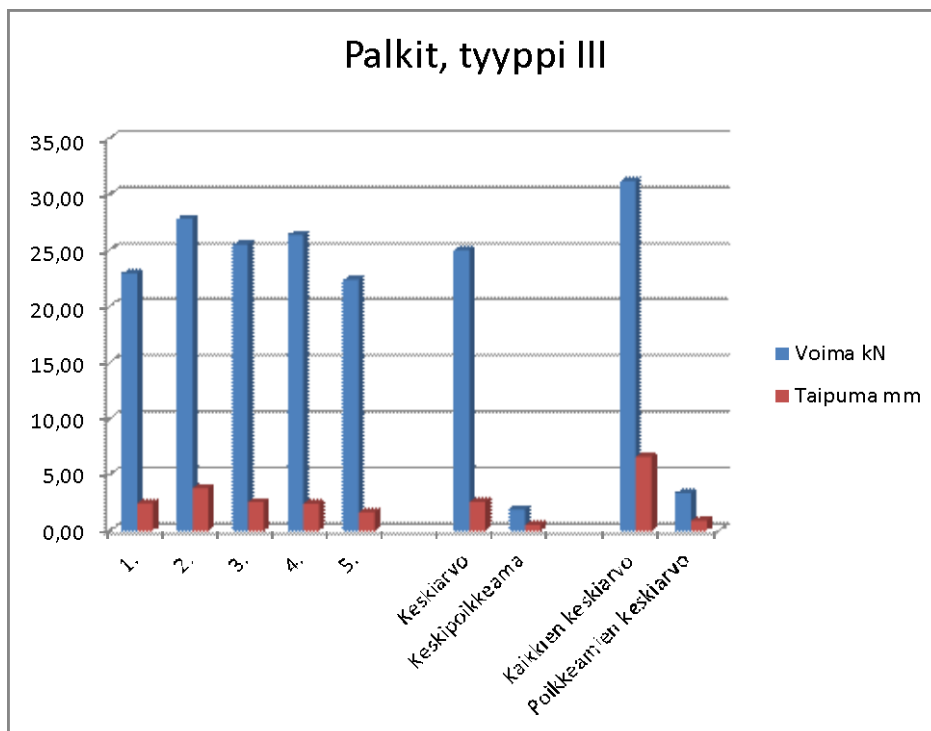
Kaavio 1. Palkki, tyyppi I teräskuitu 75/50 35kg/ m³.



Kaavio 2. Palkki, tyyppi II teräskuitu 1/60 50kg/ m³.

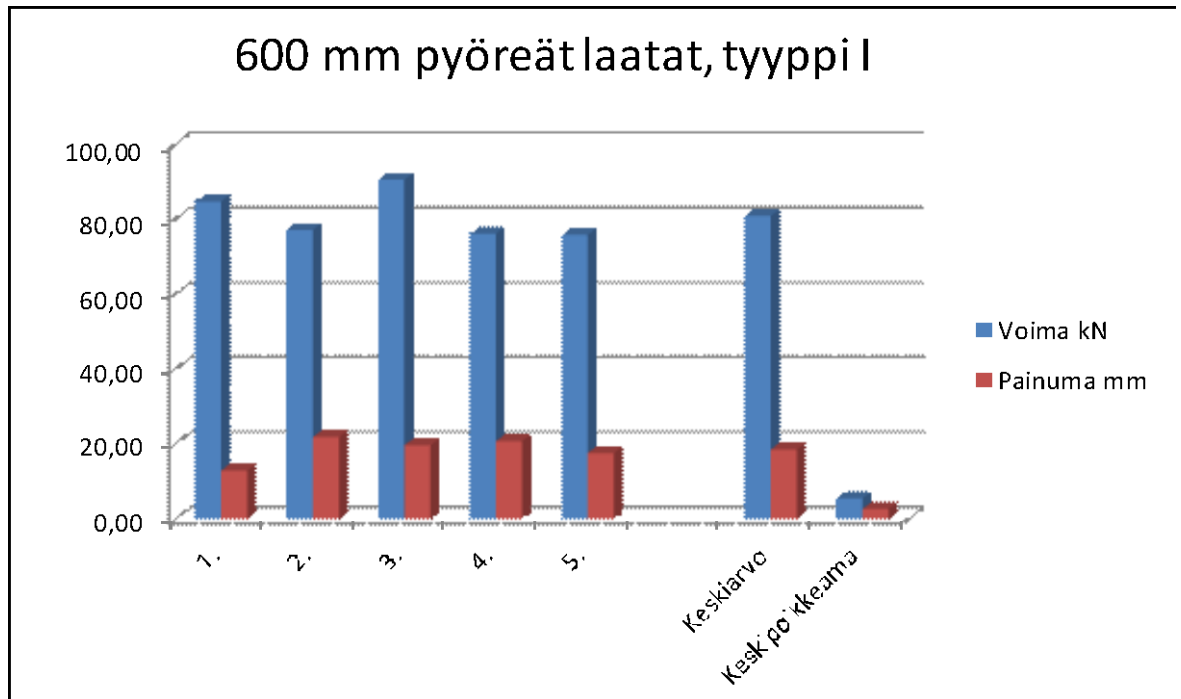


Kaavio 3. Palkki, tyyppi III ei vahvistusta.

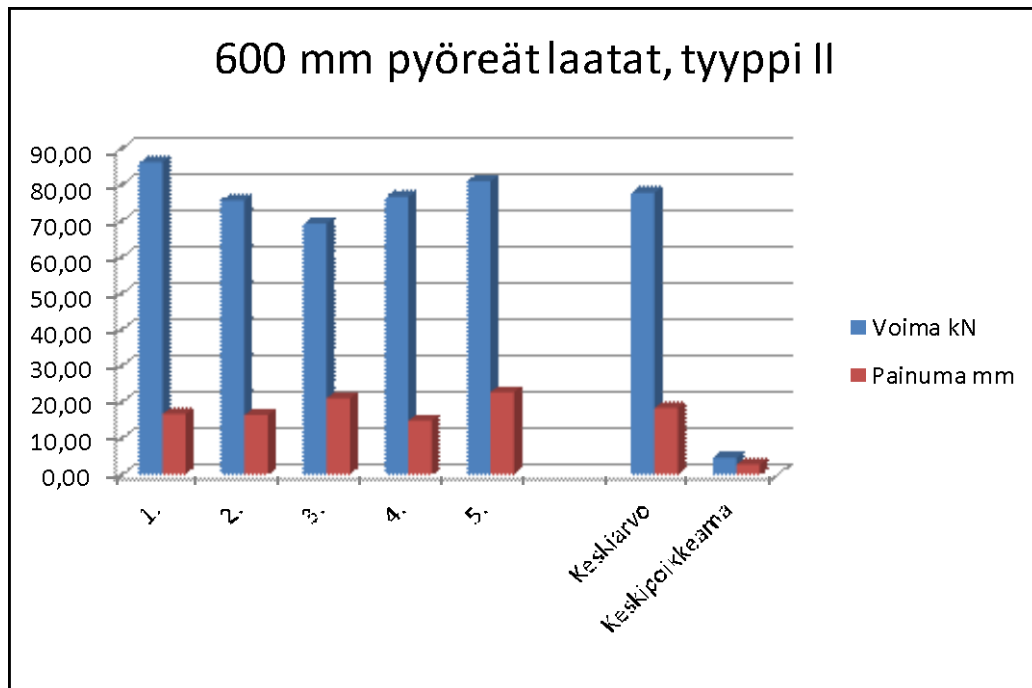


3.2. 600 mm pyöreät laatat

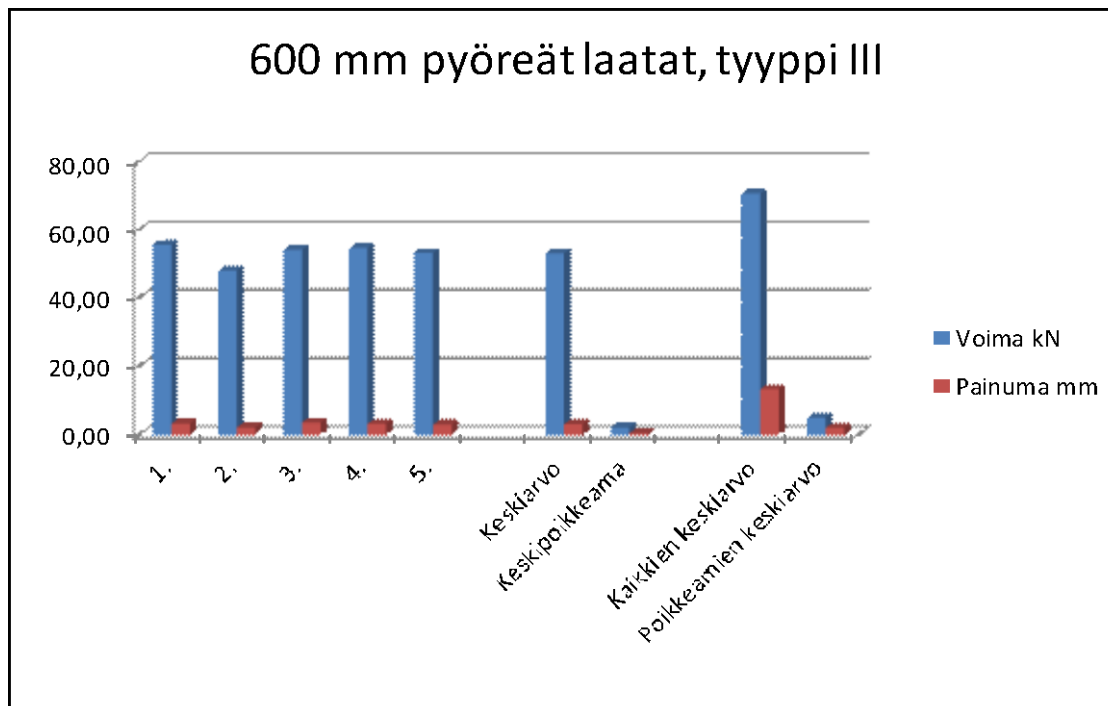
Kaavio 4. 600 mm pyöreät laatat, tyyppi I teräskuitu 75/50 35kg/m³.



Kaavio 5. 600 mm pyöreät laatat, tyyppi II teräskuitu 1/60 50kg/m³.

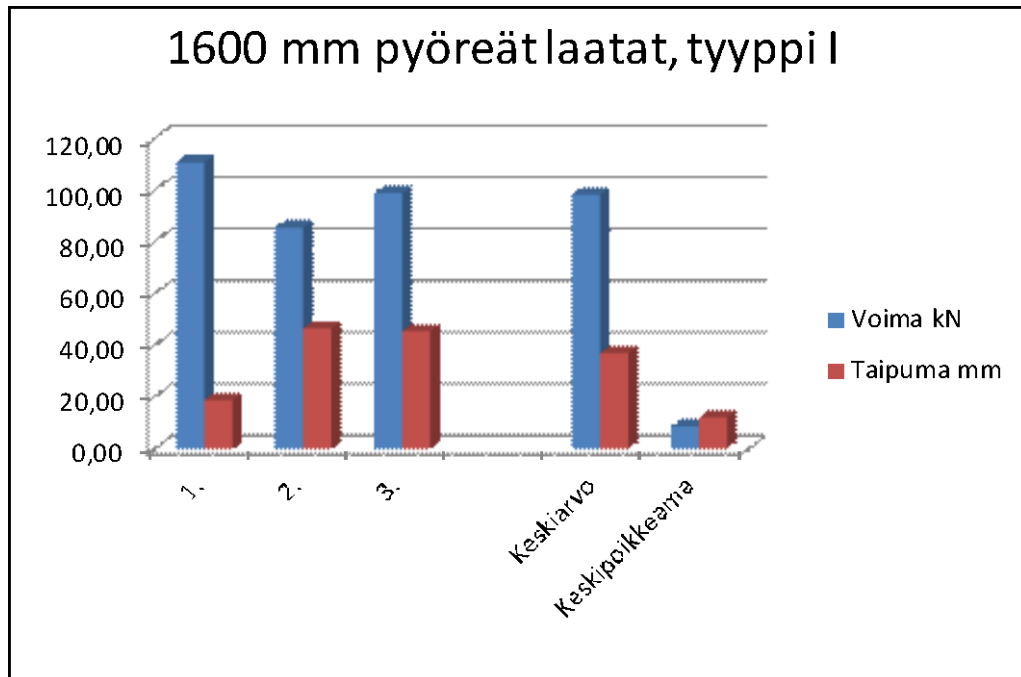


Kaavio 6. 600 mm pyöreät laatat, tyyppi III ei vahvistusta.

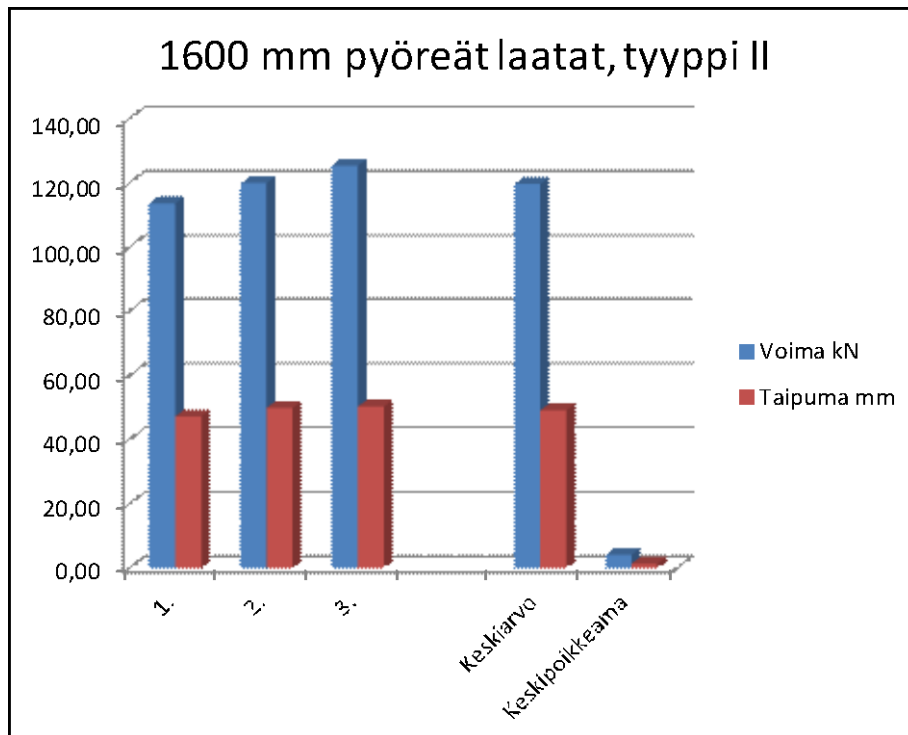


3.3. 1600 mm pyöreät laatat

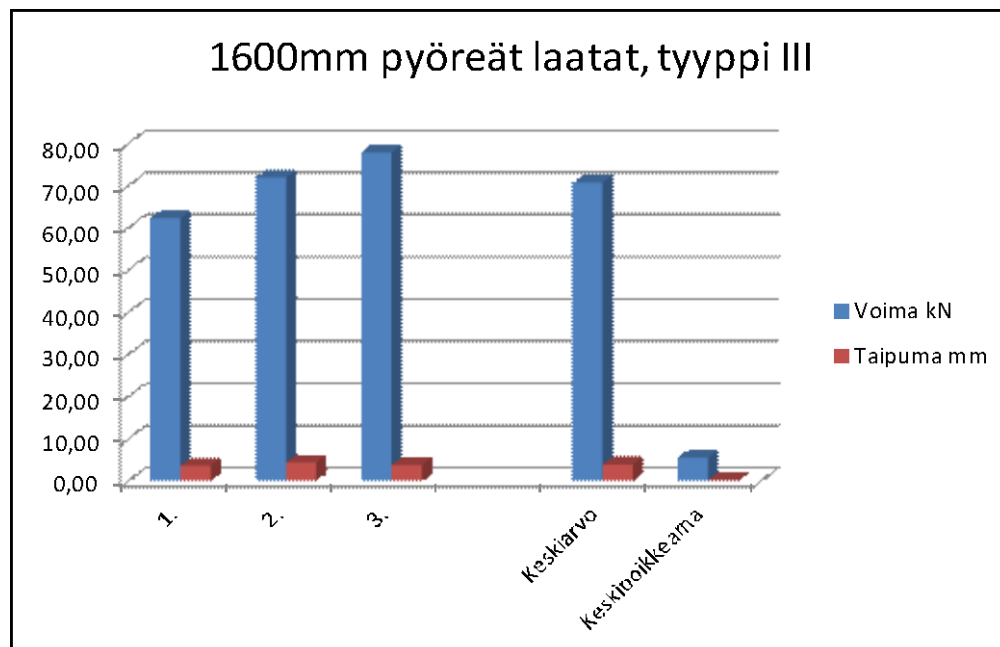
Kaavio 7. 1600 mm pyöreät laatat, tyyppi I teräskuitu 75/50 35kg/m³.



Kaavio 8. 1600 mm pyöreät laatat, tyyppi II teräskuitu 1/60 50kg/m³.



Kaavio 9. 1600 mm pyöreät laatat, tyyppi III ei vahvistusta.



Kaavio 10. 1600 mm pyöreät laatat, tyyppi IV teräsverkko B500K 8-150.

