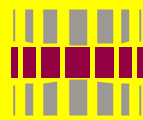


# FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel

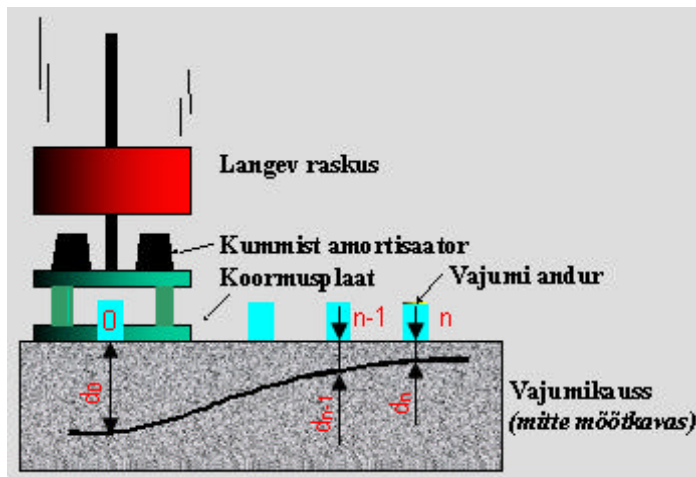
VAHEARUANNE

Katendi kandevõime hindamine ja dimensioneerimine  
FWD mõõtmisandmete baasil



1918  
TALLINNA  
TEHNIKAÜLIKOOL  
TEEDEINSTITUUT

2006-11/V



MAANTEEAMET

Tallinn 2007

**TEEDEINSTITUUT**

**Teadustöö klass 2.8**

**TEADUSTÖÖ 614L**

**FWD MÕÕTMISTULEMUSTE KASUTAMINE  
TEEKATENDI REMONDIPROJEKTIDE  
KOOSTAMISEL**

**VAHEARUANNE**

**Katendi kandevõime hindamine ja dimensioneerimine  
FWD mõõtmisandmete baasil**

**Tellijä: MAANTEEAMET**

**Lepingu vastutav täitja: prof. Andrus Aavik**

**18.juuni 2007**

**Tallinn 2007**

## **TEADUSTÖÖ VAHEARUANNE**

### **FWD MÕÕTMISTULEMUSTE KASUTAMINE TEEKATENDI REMONDIPROJEKTIDE KOOSTAMISEL**

#### **Katendi kandevõime hindamine ja dimensioneerimine FWD mõõtmisandmete baasil**

Käesolev teadustöö vahearuanne on koostatud 14.02.2006.a. Maanteeameti ja Tallinna Tehnikaülikooli vahel sõlmitud Lepingu 614L alusel.

#### **Teadustöö vahearuanne koostasid:**

1. Prof. Andrus Aavik – lepingu vastutav täitja;
2. Magistrant Priit Paabo - katendi üldise elastsusmooduli arvutamine FWD mõõtmistulemuste alusel;
3. Üliõpilane Ott Talvik - vajumiskausi parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine defektse teekonstruktsiooni osa kindlaksmääramiseks.

# SISUKORD

<b>Teadustöö lähteülesanne -----</b>	<b>6</b>
--------------------------------------	----------

## **KATENDI KANDEVÕIME HINDAMINE JA DIMENSIONEERIMINE FWD MÕÕTISANDMETE BAASIL**

<b>1. Katendi üldise elastsusmooduli arvutamine FWD mõõtmistulemuste alusel -----</b>	<b>9</b>
1.1. Katendi üldine elastsusmoodul FWD mõõtmistulemuste alusel -----	9
1.2. Koormussagedus ja katendi nõutav (vajalik) elastsusmoodul-----	12
1.3. Homogeensete lõikude moodustamine -----	15
<b>2. Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine defektse teekonstruktsiooni osa kindlaksmääramiseks -----</b>	<b>16</b>
2.1. FWD mõõtmistulemuste taandamine normkoormusele ja arvutuslikule temperatuurile -----	17
2.2. Vajumikausi parameetrite arvutus -----	18
2.3. Vajumikausi parameetrite lubatavad piirväärtused-----	19
2.4. Vajumikausi parameetrite BDI, SCI ja BCI väärtuste võrdlus maksimaalselt lubatavate piirväärtustega ja homogeensete lõikude ümberformeerimine -----	20
<b>3. Defektse teekonstruktsiooni alla jääva konstruktsiooniosa üldise E-mooduli määramine FWD mõõtmistulemuste alusel -----</b>	<b>19</b>
3.1. Seos FWD mõõtmistulemuste ja 2001-52 juhendi alusel arvutatud E-moodulite vahel katte pinnast sügavusel r analüüsis <u>eraldi</u> mulde kõrgust, niiskuspaikkonda ja katte tüüpi -----	22
3.2. Seos FWD mõõtmistulemuste ja 2001-52 juhendi alusel arvutatud E-moodulite vahel katte pinnast sügavusel r analüüsis <u>koos</u> mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda ----	25
3.3. Seos FWD mõõtmistulemuste ja 2001-52 juhendi alusel arvutatud E-moodulite vahel katte pinnast sügavusel r analüüsis <u>koos</u> mulde kõrgust, niiskuspaikkonda ja katte tüüpi -----	32
3.4. Kokkuvõte -----	50

<b>4. Defektse teekonstruktsiooni alla jääva konstruktsiooniosa üldise E-mooduli määramine juhendi 2001-52 alusel ja katendi projekteerimine -----</b>	<b>51</b>
<b>Kokkuvõte -----</b>	<b>52</b>
<b>Kasutatud kirjandus -----</b>	<b>54</b>

## TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE

### FWD MÕÕTMISTULEMUSTE KASUTAMINE TEEKATENDI REMONDIPROJEKTIDE KOOSTAMISEL

#### 1. Probleemipüstitus

Kandevõime mõõtmisi teostab AS Teede Tehnokeskus rahvusvaheliselt laialdaselt kasutatud ([http://www.dynatest.com/addresses1/owners\\_agencies.htm](http://www.dynatest.com/addresses1/owners_agencies.htm)) Taani päritolu langeva raskusega dünaamilise koormusseadmega Dynatest FWD-8002, mille 7 andurit registreerivad teekonstruktsiooni läbipainde kindlalt kõrguselt langeva raskuse all. Ajavahemikul 1996-2005 on mõõdetud 100 m mõõtmisammuga ühes suunas orienteeruvalt 7000 km maanteid. FWD mõõtmised teostatakse igal aastal alates kevadisest teekonstruktsiooni sulamisest (kui teekonstruktsioon on teoreetiliselt kõige nõrgem) kuni hilissügiseni (tingimuseks on, et teekatte temperatuur on üle 5 °C).

Katendi üldise elastsusmooduli arvutamiseks kasutatakse meil praegusel hetkel ainult dünaamilise koormusseadme (FWD) 0-anduri (langeva raskuse keskmises oleva anduri) lugemit, mille alusel on võimalik arvutada katendi kevadine üldine elastsusmoodul, kasutades selleks A.Aaviku poolt tema doktoritöös "Teekatendite tugevuse hindamise meetodilised alused Eesti teekatendite hoiu süsteemis (EPMS)" 2003.a. leitud võrrandit ning mille väärtus on võrreldav Maanteeameti "Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi" (2001-52) alusel arvutatud väärtusega. Saadus tulemusi kasutatakse PMS-i võrgutasandi analüüsil ja vähesel määral ka teekatendite remondiprojektide koostamisel katendi nõrkade kohtade väljaselgitamisel.

FWD mõõtmistulemusi kasutatakse remondiprojektide koostamisel olemasolevate katendikonstruktsioonide analüüsiks praegusel hetkel kindlasti liiga vähe. A.Aaviku teadustöö näitas, et FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud katendi tugevusnäitajad iseloomustavad olemasoleva katendikonstruktsiooni tugevust palju täpsemalt, kui juhendi 2001-52 alusel arvutatud parameetrid. FWD mõõtmised registreerivad katendi faktilise seisukorra, samas juhendi 2001-52 kasutamisel võetakse aluseks juhendi poolt määratud erinevate katendikihtide teoreetilised tugevusparameetrid, mis ei pruugi vastata katendikihtide tegelikele omadustele. See võib olla põhjuseks, miks on tekkinud suured erinevused katendi projekteeritud üldise elastsusmooduli ja remonditud katendi FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud katendi üldise elastsusmooduli väärtuste vahel. See omakorda tähendab, et uus remonditud katend on vastavalt kas üle- või aladimensioneeritud, mis mõlemal juhul põhjustab ühiskonnale liigseid kulutusi.

Seni on teedevõrgul mõõtmisi teostatud ja teostatakse ilmselt ka tulevikus teadmata mõõdetava katendi konstruktsiooni. Teades katendis kasutatud materjalide ja pinnase nimetusi ja omadusi, täpsustuks oluliselt kandevõime arvutus. Katendikonstruktsiooni kihtide paksuste määramine on aga väga kulukas ja aeganõudev ning tekib küsimus, kas saadav informatsioon on seda väärt, et teostada katendikonstruktsiooni uuringud kogu teedevõrgul. Kindlasti tuleb aga remondiprojekti tasandil määrata olemasoleva katendi konstruktiivsed kihid (kas

geoloogiliste puurimistega või maaradariga) ja materjalide ning pinnaste omadused, et kindlustada katendi võimalikult täpne dimensioneerimine, sest viimane on lisaks insenerlikule ülesandele ka majanduslik ülesanne, mille võimalikult täpne ja ökonoomne lahendamine tähendab suurt rahalist kokkuhoidu.

A. Aaviku poolt leitud seos katendi kevadise üldise elastsusmooduli arvutamiseks FWD mõõtmistulemuste alusel omab piisavat täpsust kasutamiseks PMS-i võrgu tasandil, kui puudub informatsioon olemasoleva katendikonstruktsiooni kohta. Katendi remondiprojektide koostamisel on kasutada katendikonstruktsiooni kohta märkimisväärselt rohkem informatsiooni PMS-i võrgutasandiga võrreldes. Sellisel juhul on määratud olemasoleva katendi konstruktiivsed kihid, niiskuspakkonna tüüp ja pinnasevee tase, mida kasutatakse katendi dimensioneerimisel juhendi 2001-52 alusel. Selle informatsiooni maksimaalseks kasutamiseks, tuleks võrgutasandi katendi üldise elastsusmooduli arvutamise seost täpsustada. Vajalik on teostada täiendav FWD kontroll-mõõtmispunktide andmete analüüs, kus kontroll-mõõtmispunktid on grupeeritud vastavalt:

- katte tüübile;
- seotud kihtide paksusele;
- sidumata kihtide materjalidele ja paksusele;
- mulde pinnase tüübile;
- niiskuspakkonna tüübile;
- mulde kõrgusele;
- kraavide (mitte)olemasolule

ja, kasutades alusena Cobb-Douglas'e võrrandit, leida seosed, mis võimaldaksid arvutada olemasoleva katendi elastsusmooduli võimalikult täpselt, arvestades eeltoodud täiendavate andmetega, mida võrgutasandi üldine seos seni ei arvesta. Leitavate seoste kasutamiseks projektitasandil tuleb koostada vastav juhised.

Lisaks 0-andurile (langeva raskuse keskmes olevale andurile) mõõdab FWD teekatendi deformatsioone veel kuues punktis (0-punktist kaugustel 300, 600, 750, 900, 1200 ja 1500 mm), mis salvestatakse Teeregistris, kust nad on kättesaadavad edaspidisteks arvutusteks. See tohutu informatsioonikogus on aga praegusel hetkel Eestis täielikult kasutamata, sest ei ole teada, kuidas nende kuue täiendava anduri mõõtmistulemused iseloomustavad katendi seisukorda.

FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud vajumiskõvera põhjal on võimalik hinnata olemasolevat katendikonstruktsiooni ja selle erinevate kihtide ning aluspinnase omadusi. Seni ei ole Eestis FWD koormuse tekitatud vajumiskõvera parameetreid uuritud ja kasutatud, kuigi FWD mõõtmistulemused on olemas ja selle informatsiooni kasutamine vastavate juhiste olemasolul oleks remondiprojektide koostamisel vajalik.

Nii 0-andurist teatud kaugusel mõõdetud katendi deformatsiooni ja anduri kaugusega võrdset sügavusel oleva kihi tugevusnäitajate vahelise seose põhimõtteid kui ka FWD vajumiskõvera parameetreid tuleks enne nende praktilist rakendamist uurida, määratledes konkreetselt nende kasutusvõimaluse ja -ulatuse ning saadavate tulemuste tõepärasuse. Samuti tuleks nende arvutuste teostamiseks ja tulemuste kasutamiseks koostada vastavad juhised.

Teadustöös kasutatakse algandmetena AS Teede Tehnokeskuse poolt aastatel 1999-2005 teostatud püsiva FWD kontroll-mõõtmispunkti deformatsioonide regulaarsete mõõtmiste andmeid.

## **2. Teadustöö eesmärk**

2.1. Tuletada seosed FWD mõõtmisandmete alusel olemasoleva katendi kevadise üldise elastsusmooduli arvutamiseks projekti tasandil.

2.2. Urida FWD koormuse tagajärjel kattel tekkiva vajumiskõvera parameetrite alusel katendikihtide elastsusmoodulite määramise võimalusi.

2.3. Koostada FWD mõõtmisandmete baasil katendi kandevõime hindamise ja dimensioneerimise meetodika remondiobjektidele.

2.4. Koostada arvutitarkvara remondiobjektide olemasolevate katendite kandevõime hindamiseks ja uute katendite dimensioneerimiseks FWD mõõtmisandmete baasil.

### 3. Teadustöö sisu

3.1. FWD kontroll-mõõtmispunkti 1999-2005 mõõtmistulemuste ja andmete töötlus. Mõõtmispunktide grupeerimine ühiste tunnuste alusel.

3.2. Grupeeritud kontroll-mõõtmispunktide töödeldud FWD mõõtmistulemuste analüüs. Seoste leidmine katendi kevadise üldise elastsusmooduli arvutamiseks projekti tasandil FWD mõõtmistulemuste alusel.

3.3. FWD koormusel tekkiva vajumiskausi parameetrite kasutusvõimaluse ja –ulatuse määratlemine katendikonstruktsiooni kihtide seisukorra iseloomustamiseks, mis põhineb FWD kontroll-mõõtmispunkti 1999-2005 mõõtmistulemustel.

3.4. FWD mõõtmisandmete baasil katendi kandevõime hindamise ja dimensioneerimise meetodika koostamine katendi remondiobjektidele.

3.5. Arvutitarkvara loomine remondiobjektide olemasolevate katendite kandevõime hindamiseks ja uute katendite dimensioneerimiseks FWD mõõtmisandmete baasil.

### 4. TÖÖVÕTJA poolt esitatavad aruanded

Aruanne	Sisu	Tähtaeg
<b>I etapp</b> - Informatsioon	1. FWD kontroll-mõõtmispunktide 1999-2005 mõõtmistulemuste ja andmete töötlus. Mõõtmispunktide grupeerimine ühiste tunnuste alusel. 2. Grupeeritud kontroll-mõõtmispunktide töödeldud FWD mõõtmistulemuste analüüs. Seoste leidmine katendi kevadise üldise elastsusmooduli arvutamiseks projekti tasandil FWD mõõtmistulemuste alusel.	02.07.2006
<b>II etapp</b> - Informatsioon	3. FWD koormusel tekkiva vajumiskausi parameetrite kasutusvõimaluse ja –ulatuse määratlemine katendikonstruktsiooni kihtide seisukorra iseloomustamiseks, mis põhineb FWD kontroll-mõõtmispunkti 1999-2005 mõõtmistulemustel.	01.12.2006
<b>III etapp</b> – Vahearuanne	4. FWD mõõtmisandmete baasil katendi kandevõime hindamise ja dimensioneerimise meetodika koostamine katendi remondiobjektidele.	30.06.2007
<b>IV etapp</b> – Lõpparuanne	5. Arvutitarkvara loomine remondiobjektide olemasolevate katendite kandevõime hindamiseks ja uute katendite dimensioneerimiseks FWD mõõtmisandmete baasil.	01.12.2007



## 1. KATENDI ÜLDISE ELASTSUSMOODULI ARVUTAMINE FWD MÕÖTMISTULEMUSTE ALUSEL

Käesolev teadustöö põhineb AS Teede Tehnokeskuse poolt aastatel 1999 - 2006 teostatud FWD mõõtmistel Eesti põhi- ja tugimaanteedel. FWD mõõtepunktide arv on nende aastate jooksul kahanenud 25 mõõtepunkti võrra – kui esimestel aastatel teostati mõõtmisi 51 punktis, siis 2005 aastal vaid 26 mõõtepunktis. Sellest hoolimata võib kaheksa aasta mõõtmistulemusi pidada statistika seisukohalt piisavalt soliidseks baasiks, mille põhjal on võimalik juba leitud FWD mõõtmistulemuste rakendusi täiustada (kontrollida) ja edasi arendada.

### 1.1. Katendi üldine elastsusmoodul FWD mõõtmistulemuste alusel

Katendi üldise elastsusmooduli, mis on võrreldav 2001-52 meetodika alusel arvatatuga ( $E_{eq2001-52}$ ), arvutusvalemi võib A.Aaviku doktoritöö [1] baasil esitada kujul:

$$E_{eq2001-52} = C * E_{eq}^e * T^t * M_i * H_j \quad (1.1)$$

kus: T – bituumensideainega töödeldud kihi keskmine temperatuur FWD-ga mõõtmise ajal, °C;  
M<sub>i</sub> – tegur, mis arvestab konkreetset kuud, millal toimus FWD-ga mõõtmine (i=4...10, aprill - oktoober);  
H<sub>j</sub> – tegur, mis võtab arvesse mulde kõrguse FWD mõõtmispunktis;  
C, e, t – empiirilised konstandid (vt. tabel 1.1);  
E<sub>eq</sub> - katendi üldine E-moodul koormusplaadi keskel, MPa (vt. seos (1.2)).

Põhivalem katendi üldise elastsusmooduli arvutamiseks mõõdetud vajumite alusel koormusplaadi keskel (E<sub>eq</sub>) põhineb Boussinesq'i võrranditel ja on esitatav kujul [2]:

$$E_{eq} = 0,25pFS(1-n^2)/d_0 \quad (1.2)$$

kus: E<sub>eq</sub> - katendi üldine E-moodul koormusplaadi keskel, MPa;  
F – kontaktsurve koormusplaadi all, kPa;  
S – koormusplaadi diameeter, mm;  
n – Poisson'i tegur;  
d<sub>0</sub> – deformatsioon koormusplaadi keskel, µm.

P. Paabo bakalaureusetöö [3] koostamisel on kasutatud FWD mõõtmisandmeid aastatest 1999 – 2003. Käesoleva teadustöö informatsiooni (2006-II) koostamisel

kasutatud FWD mõõtmistulemuste andmebaas sisaldab lisaks eelmainitud andmetele ka aastate 2004 ja 2005 mõõtmisandmeid, mis pikendavad statistiliste andmete rida mõõtepunkti ulatuses ning seoses sellega viib lõpptulemuste usaldusväarsuse tõusule.

Eelnevat arvesse võttes on leitud katendi üldise E-mooduli arvutamisel seoses (1.1) esinevatele empiirilistele konstantidele (C, e, t) ja teguritele ( $M_i$ ,  $H_j$ ) uued väärtused nii niiskuspaiikkonnast kui ka katte liigist lähtuvalt (tabel 1.1). Kõikide MS Excel funktsiooni Linest abil leitud parameetrite usaldusväarsust on kontrollitud nii F-kriteeriumi kui ka Studenti t-kriteeriumi seisukohast.

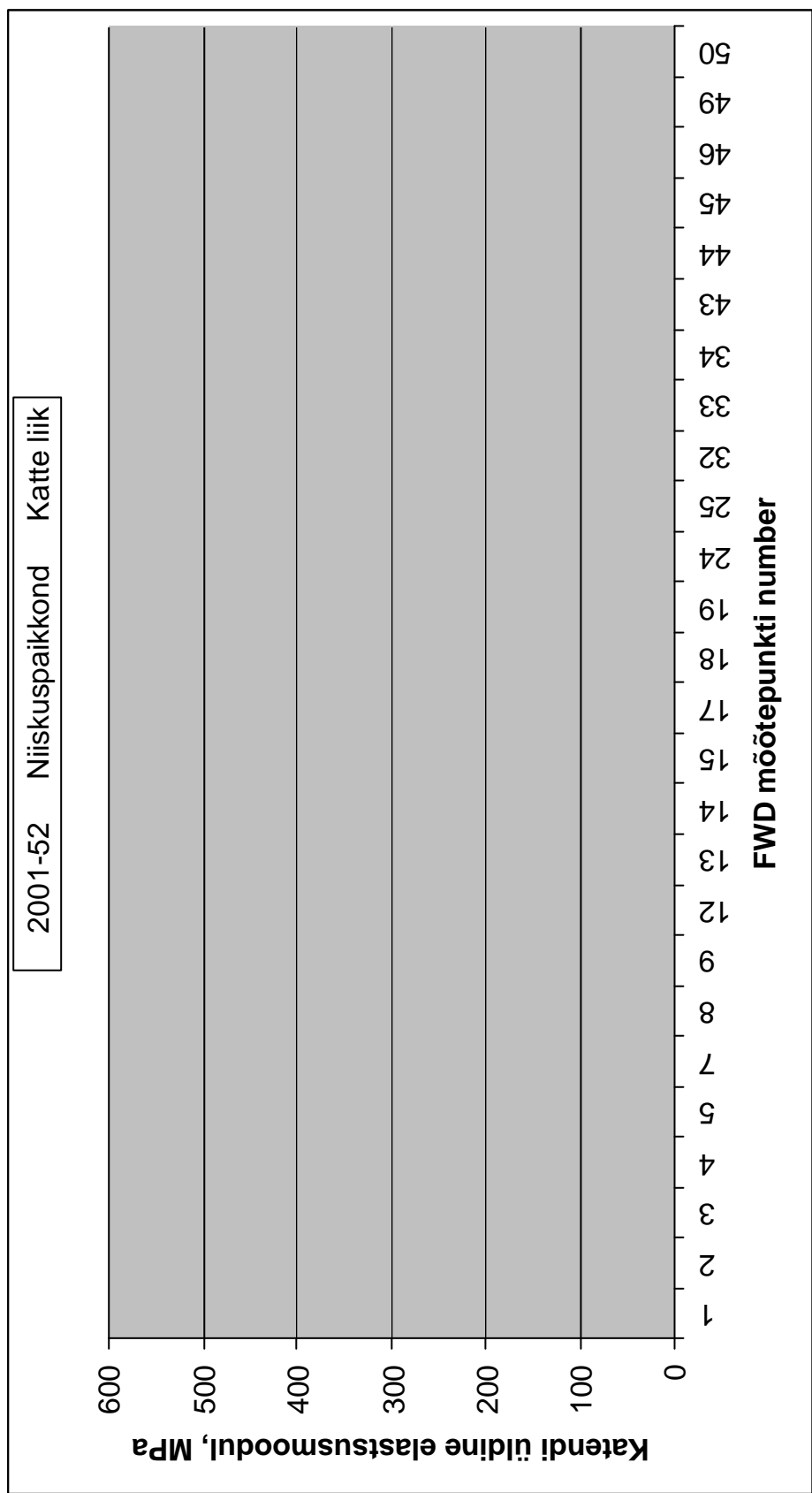
**Tabel 1.1**

**Niiskuspaiikkonna tüüpi ja katte liiki arvestades leitud konstantide e, t, C ja tegurite  $M_i$  ja  $H_j$  väärtused kasutamiseks valemis (1.1) katendi üldise E-mooduli arvutamiseks, mis on võrreldav 2001-52 meetodika alusel arvutatuga**

		Niiskuspaiikkonna tüüp			Katte liik			
		1	2	3	AB	AB 130-160	AB+BS	MK
Empiirilised konstandid	e	0,721	0,461	0,548	1,152	0,414	0,503	0,665
	t	0,053	0,030	0,204	0,117	0,052	0,028	0,105
	C	2,580	10,35	3,228	0,1883	18,484	9,204	1,668
Kuud arvestav tegur $M_i$	$M_4$ - aprill	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	$M_5$ - mai	0,955	0,962	0,837	0,991	0,983	0,961	0,826
	$M_6$ - juuni	0,929	0,940	0,796	0,996	0,967	0,934	0,736
	$M_7$ - juuli	0,908	0,942	0,802	0,927	0,953	0,927	0,738
	$M_8$ - august	0,907	0,943	0,756	0,945	0,967	0,931	0,708
	$M_9$ - september	0,871	0,914	0,766	0,933	0,974	0,898	0,702
	$M_{10}$ - oktoober	0,866	0,921	0,836	0,936	0,963	0,893	0,707
Mulde kõrgust arvestav tegur $H_j$	$H_{<0,5} \leq 0,5m$	1,000	1,000	1,000	-	1,000	1,000	1,000
	$H_{0,5-1} = 0,5...1m$	0,867	0,913	1,447	-	1,007	0,880	1,724
	$H_{>1} > 1m$	1,081	1,368	1,795	-	1,077	1,225	1,591
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,666</b>	<b>0,956</b>	<b>0,728</b>	<b>0,700</b>	<b>0,753</b>	<b>0,800</b>	<b>0,868</b>

Vastust küsimusele, milliseid konstante ja tegurid praktikas kasutada, püüame põhjendada katendi üldiste E-moodulite graafilise võrdlusega (joonis 1.1). Arvutuste teostamisel on arvestatud konkreetses FWD mõõtepunktis esinevat niiskuspaiikkonna tüüpi ja katte liiki.

Jooniselt 1.1 selgub, et seosega (1.1) arvutatud katendi üldised E-moodulite väärtused, mis on leitud kasutades niiskuspaiikkonnast ja katte liigist lähtuvalt määratud konstante e, t, C ja tegureid  $M_i$  ja  $H_j$ , ühilduvad keskmiselt võrdselt hästi 2001-52 meetodika järgi leitud katendi üldiste E-moodulite väärtustega. Suurimad erinevused ilmnevad punktides, mis jäid seoste leidmisest kõrvale (näiteks punktis nr. 25).



**Joonis 1.1** Seosega (1.1) niiskuspaikkonnast ja katteliigist lähtuvalt määratud konstante ja tegureid kasutades leitud ning 2001-52 meetodika alusel leitud FWD mõõtepunktide keskmiste katendi üldiste E-moodulite võrdlus

Niiskuspaikkonna tüübist lähtuvalt leitud E-moodulite väärtuste ühilduvus 2001-52 meetodikast lähtuvate E-moodulite väärtustega ületab katte liigist lähtuvalt leitud E-moodulite väärtuste ühilduvust 14 FWD mõõtepunktis ja on võrdne ühes mõõtepunktis. Suurimad erinevused niiskuspaikkonna tüübist lähtuvalt leitud E-moodulite väärtuste ja katte liigist lähtuvalt leitud E-moodulite väärtuste vahel esinevad FWD mõõtepunktides nr. 4 (96 MPa), 17 (85 MPa) ja 25 (112 MPa). Keskmine erinevus 2001-52 meetodika alusel ja niiskuspaikkonnast lähtuvalt valemiga (1.1) arvatud katendi üldiste E-moodulite väärtuste vahel on 37 MPa (ilma punkti nr. 25 andmeteta 27 MPa). Keskmine erinevus 2001-52 meetodika alusel ja katte liigist lähtuvalt valemiga (1.1) arvatud katendi üldiste E-moodulite väärtuste vahel on 30 MPa (ilma punkti nr. 25 andmeteta 24 MPa).

*Kui olemasolevad andmed võimaldavad, tuleks katendi üldise E-mooduli väärtused FWD mõõtmistulemuste alusel leida seosega (1.1) nii niiskuspaikkonnast kui ka katte liigist lähtuvalt leitud tegureid ja konstante kasutades, saades kaks katendi üldise E-mooduli väärtust. Seejärel peab insener otsustama, kumba katendi üldise E-mooduli väärtust kasutada. Üldjuhul tuleb katte remondi projekteerimisel aluseks võtta halvem, st. madalam E-mooduli väärtus.*

## 1.2. Koormussagedus ja katendi nõutav (vajalik) elastsusmoodul

Kuna katendiarvutuses lähtutakse prognoositavast koormussagedusest tee kasutusaja lõpus, siis on ka vajalik katendi remondi projekteerimisel määrata remonditavale lõigule nii koormussagedus kui ka sellele vastav vajalik elastsusmoodul.

Koormussagedus on tee põiklõiget teataval (loendamise, ennustuslikul) ajal läbinud arvutusveokite aasta keskmine hulk ööpäevas [4]. Arvutusveokiks loetakse veoautot või bussi, mille rattakoormus on redutseeritud normkoormuse (100 kN üksikule teljele) rattakoormuseks (50 kN paarisrattale).

Katendi nõutav E-mooduli väärtus ( $E_{vaj}$ ) arvutatakse vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [4] (seos (1.3)), võttes arvesse:

- teel esineva hetke koormussageduse - olemasoleva seisukorra hindamiseks;
- tee perspektiivse koormussageduse (lähtudes projekteeritava katendi/katte tööeast) – teekonstruktsiooni tugevdamisvajaduse määramiseks.

Koormussagedus määratakse vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [4]:

- Arvutusveok  $V_1$  – veoauto, buss või troll, mõni muu maantee- või linnaliikluseks lubatud spetsiaalveok ja –masin, mille rattakoormus on redutseeritud normkoormuse rattakoormuseks ning mille redutseerimistegur on = 0,05; ligikaudu vastab sellele auto kogumassiga 75 kN. Sellest tulenevalt sõidua autod üldse ja reeglina väikebussid ning -veoautod pole arvutusveokiteks  $V_1$ , mistõttu katendi tugevusarvutustes neid ei arvestata. Viimased kaks võivad osutada arvutusveokiteks nende suure hulga (>500 auto ööpäevas) puhul, kui kogumass on = 25 kN.
- Arvutusveok  $V_2$  - selleks võib olla üks veoauto, buss või troll, mõni muu maantee- või linnaliikluseks lubatud spetsiaalveok ja –masin, kui liiklusvoog

koosneb valdavalt ühest neist; sel juhul võetakse see üks normkoormuseks ja kõik teised füüsilised veokid redutseeritakse  $V_2$ -ks. Arvutusveoki  $V_2$  kasutamine katendi arvutamisel on otstarbekas intensiivse ühissõidukiliiklusega linnatännavail.

- Arvutusveok  $V_3$  - veoauto, mõni muu maantee- või linnaliikluseks erandkorras lubatud spetsiaalveok ja –masin, mille ratta maks dünaamiliseks koormuseks on  $> 78$  kN; sel juhul võetakse üks neist normkoormuseks ja kõik teised füüsilised veokid redutseeritakse  $V_3$ -ks. Arvutusveokit  $V_3$  kasutatakse tee ja rajatise katendi projekteerimisel ainult omaniku taotlusel ja loal; sel juhul tuleb silmas pidada iseärasusi katendi arvutamisel. Reeglina ei kasutata arvutusveokit  $V_3$  üldkasutatavate teede katendite projekteerimisel, küll aga olevate katendite tugevuse kontrollimiseks, kui selline veok erandkorras lubatakse üldkasutatavale teele.

Teeregistris on liiklusloenduste andmed antud aasta keskmiste ööpäevaste liiklussagedustena koos kerge- ja raskeveoautode ning autobusside (VA/AB %) ja autorongide (AR %) osaga kogu liiklusest. Kui reeglina teatakse koormussageduse määramisel ka sõiduliikide (VA, AR, AB) eri tüüpide jaotust (väiksed, keskmised, rasked) ja 100 kN teljekoormusele taandamisel saab kasutada vastavaid siirdetegureid, siis siinkohal on teada vaid autorongide (AR) ja teiste raskete sõidukite (VA/AB) osa. “Maanteede projekteerimismõnede” [5] alusel on AR klassi keskmiseks siirdeteguriks 2,0. VA/AB jaoks taolist ühist keskmist siirdetegurit ei ole. T. Metsvahi (TTÜ Teedeinstituut) eksperthinnangu alusel võiks VA/AB siirdeteguriks üle Eesti võtta alumise piirina 0,8 ja ülemisena 1,1. Seetõttu ***on koormussageduse leidmisel Riikliku Teeregistri andmete alusel otstarbekas kasutada VA/AB keskmiseks siirdeteguriks väärtust 0,95.***

Aasta keskmine ööpäevane koormussagedus  $Q_a$  leitakse [5]:

$$Q_a = a' \sum_{j=1}^m Q_j K_j, \quad (1.3)$$

kus  $m$  – sõidukitüüpide arv;  
 $Q_j$  –  $j$  tüüpi sõidukite arv ööpäevas mõlemas suunas;  
 $K_j$  –  $j$  tüüpi sõidukite siirdegur;  
 $a'$  – rajategur, mis arvestab enamkoormatud sõidurajale langeva koormussageduse osa

***Rajategur  $a'$  on üldjuhul 0,55 (kaherajaline üle 6 m laiune tee) ja I klassi tee lõikudel 0,9 (kaherajaline, ühesuunaline).***

Seos vajaliku elastsusmooduli  $E_{vaj}$  määramiseks [4]:

$$E_{vaj} = (a * \log(Q) + b) * K_{tt} \quad (1.4)$$

kus:  $Q$  – (ennustuslik) koormussagedus,  $V_1$  / ööp või  $V_2$  / ööp ( $E_{vaj}$  arvutamisel peab  $Q$  arvuline väärtus olema minimaalselt 2); Seost (1.4) ei või kasutada  $V_3$  järgi määratud koormussageduse puhul;  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  – koormussageduse arvutusveokid;  
 $a$  ja  $b$  – konstandid (tabel 1.2);  
 $K_{tt}$  – katendi tugevustegur (tabel 1.3).

Tabel 1.2

Konstandid a ja b katendi nõutava üldise E-mooduli ( $E_{vaj}$ ) arvutamiseks seoses (1.4) [4]

	Koormusgrupp	a	b
Veoauto	A	67,6	61,3
	B	73,37	-7,7
Autobuss	A	77	62
	B	84,7	0

Tabel 1.3

Katendi tugevustegurid ( $K_{tt}$ ) [4]

Tee klass	Katend	$K_{tt}$
Kiirtee, I, II	Püsikatend	1,0
III	Püsikatend	0,94
III, IV, V	Kergkatend	0,9
IV, V	Siirdekateend	0,63
V, klassivälised teed	Lihtkatend	0,63

Kui katendi nõutav üldine E-moodul ( $E_{vaj}$ ) on arvatud seose (1.4) alusel, tuleb tulemust võrrelda tabelis 1.4 toodud minimaalsete ( $E_{min}$ ) suurustega. Kui  $E_{vaj}$  osutub neist väikesemaks, tuleb katend projekteerida tabelis 1.4 toodud  $E_{min}$  järgi.

Tabel 1.4

Minimaalsedkatendi üldised E – moodulid ( $E_{min}$ ), MPa [4]

Maantee klass	Püsikatend	Kergkatend	Siirdekateend, lihtkatend
	$E_{min}$		
Kiirtee	260	-	-
I	240	200	-
II	220	180	-
III	180	160	-
IV	-	140	70
V	-	120	70
Muud teed ja rajatised	-	120	70

Kui katendit arvutatakse  $E_{min}$  järgi, siis sellele vastav koormussagedus Q tuleb määrata järgmise valemi abil [4]:

$$Q = 10^{(E_{min} - b)/a} \quad (1.4)$$

Teekonstruktsiooni olemasoleva seisukorra hindamiseks on võimalik kaudselt kasutada ka EPMS-is katendi üldisele E-moodulile määratud hoiatus- (HP) ja kriitilisi (KP) piire lähtudes liiklussageduse alusel grupeeritud (C1, ... , C4) maanteede seisukorra kriteeriumitest (tabel 1.5).

**Tabel 1.5**

**Katendi üldise E-mooduli hoiatus - (HP) ja kriitilised (KP) piirid EPMS-is lähtudes liiklussageduse alusel grupeeritud (C1, ... , C4) maanteede seisukorra kriteeriumitest**

	Grupp C1		Grupp C2		Grupp C3		Grupp C4	
	HP	KP	HP	KP	HP	KP	HP	KP
E, MPa <	260	230	240	210	220	190	200	170
Tee tüüp	Liiklussagedus, autot/ööp.							
	>6000		6000-3000		3000-1000		<1000	
Põhimaanteed	C1		C1		C2		C2	
Tugimaanteed	C1		C2		C2		C3	
Kõrvalmaanteed	C1		C2		C3		C4	

### 1.3. Homogeensete lõikude moodustamine

FWD mõõtmised remondiobjektidel peavad olema teostatud vähemalt 25? m sammuga mõlemal sõidusuunal parempoolse rattaroota kohal. Seosega (1.1) arvutatud katendi üldiste E-moodulite väärtuste alusel moodustatakse homogeensed lõigud (E-mooduli väärtuste erinevus mitte üle 25? MPa), mida edaspidisel remondiprojekti koostamisel käsitletakse ühtsena.

*Lisaks teekonstruktsiooni tegelikele (FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud) E-mooduli väärtustele peab insener homogeensete lõikude määramisel arvesse võtma ka projekti koostamiseks teostatud geoloogiliste profiilide (katte tüüp, katendikihtide paksused, mulde- ja aluspinnased) ja teisi (näiteks kattel esinevad defektid, niiskuspäikkonna tüüp, kraavid jmt.) olulisi andmeid, mis võivad mõjutada teekonstruktsiooni töötamist ning lähtudes nendest vajadusel muutma katendi üldise E-mooduli alusel moodustatud homogeenseid lõike.*

## 2. VAJUMISKAUSI PARAMEETRITE SCI, BDI JA BCI KASUTAMINE DEFEKTSE TEEKONSTRUKTSIOONI OSA KINDLAKSMÄÄRAMISEKS

Antud töös keskendutakse kolmele põhilisele (SCI, BDI, BCI) vajumikausi parameetritele:

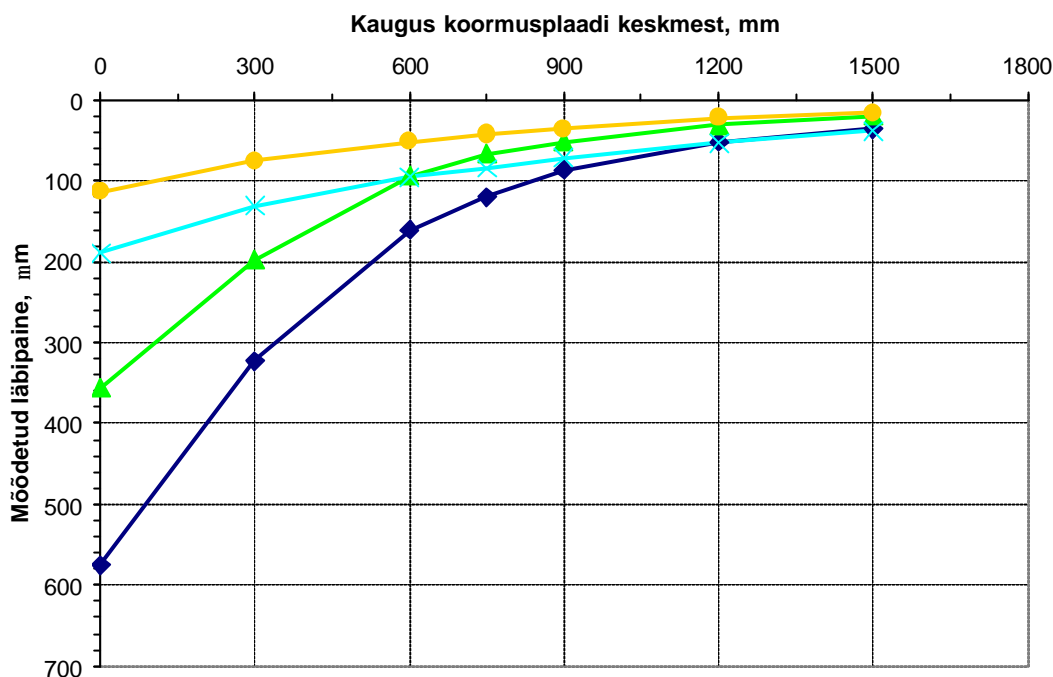
- Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ( $d_0 - d_{300}$ ), mis iseloomustab ülemiste katendikihtide seisukorda;
- Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ( $d_{300} - d_{600}$ ), mis iseloomustab alusekihtide seisukorda;
- Base Curvature Index (BCI) e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ( $d_{1200} - d_{1500}$ ), mis iseloomustab aluspinnase seisukorda.

Edaspidi on kasutatud inglise keelest pärinevaid lühendeid SCI, BDI ja BCI.

Seni ei ole Eestis neid parameetreid katendi seisukorra hindamisel kasutatud, välja arvatud AS Teede Tehnokeskuses T. Kaalu poolt 2006 koostatud Niitvälja- Kulna maantee kandevõime uuringus [6]. Lisaks sellele käsitles P. Paabo oma magistritöös [7] parameetrite seoseid katendi üldise elastsusmooduliga ja seotud kihtide paksusega ning leidis lähtuvalt minimaalsest katendi üldisest E-moodulist maksimaalsed lubatavad SCI, BDI ja BCI väärtused. 26 FWD kontrollmõõtepunkti andmete alusel leitud parameetrite hajuvus oli suhteliselt suur, kuna vaatluse all olnud katendite seisukord ja ka katendikonstruktsioonid olid väga erinevad. Maanteeameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel sõlmitud lepingu alusel koostas viimane 2007.a. kevadel teadustöö „FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel“ (lõpparuanne, 2007-13/L) [8], mille tulemusi on kasutatud ka käesolevas teadustöös

Joonisel 2.1 on toodud neli erinevat vajumikõverat, mis on koostatud reaalseste mõõtmistulemuste põhjal. Mõõdetud läbipainded on väga erinevad ja selgelt on eristatavad tugevamad ja nõrgemad katendid. Nõrka katendit iseloomustavad suured läbipainded koormusplaadi lähedal ja seetõttu on kõvera puutuja tõus suur. Tugeva katendi läbipainded on jaotunud ühtlasemalt ja kõvera puutuja tõus on väiksem. Laugem vajumikõver tuleb sellest, et konstruktsioon jaotab koormuse paremini aluspinnasele laiali. Kuna SCI, BDI ja BCI on erineval kaugusel asuvate andurite lugemite vahed, siis kirjeldavad nad vajumikõvera puutuja tõusu. Parameetri suurema väärtuse tingib järsem puutuja tõus ja võib eeldada, et vastavas katendikihis esineb probleeme, mis põhjustavad nõrga kandevõime.





**Joonis 2.1** Näiteid vajumikõverate kujudest

## 2.1. FWD mõõtmistulemuste taandamine normkoormusele ja arvutuslikule temperatuurile

Kuigi koormuse suurus ja langemise kõrgus on igal standardsel mõõtmisel sama, on FWD poolt katte pinnale rakendatav koormus tingimustest sõltuvalt erinev. Tegelikult rakendatud (ja mõõdetud) ( $F_{mõõdetud}$ ) koormust mõjutavad näiteks katendi jäikus, tee profiili kaldenurk ja koormusplaadi peal olevate kummipuhvrite jäikus. Selleks, et võrrelda FWD-ga mõõdetud erinevaid deformatsioone, tuleb need taandada teatud kindlale koormusele ehk korrutada deformatsioonid läbi surveteguriga ( $F_{vajalik}/F_{mõõdetud}$ ) (seos (2.1)). Normkoormuse (50 kN) korral on vajalik ( $F_{vajalik}$ ) kontaktsurve ekvivalent 300 mm plaadil 707 kPa [9].

Mõõdetud deformatsioonide taandamine normkoormusele:

$$d_{r\ 50kN} = d_r * (F_{vajalik} / F_{mõõdetud}) \quad (2.1)$$

kus:  $d_{r\ 50kN}$  - normkoormusele 50 kN vastav deformatsioon kaugusel r (mm) koormusplaadi keskpunktist,  $\mu\text{m}$ ;  
 $d_r$  - FWD-ga mõõdetud deformatsioon koormusplaadi kontaktsurvel  $F_{mõõdetud}$  (kPa) kaugusel r (mm) koormusplaadi keskpunktist,  $\mu\text{m}$ ;  
 $F_{vajalik}$  - 50 kN koormusele vastav koormusplaadi kontaktsurve ( $F_{vajalik} = 707$  kPa).

Bituumensideainega töödeldud kihtide E moodul on sõltuv temperatuurist. Seetõttu on erinevate temperatuuride juures sama konstruktsiooni puhul mõõdetud läbipainded kattekihi jäikusest sõltuvad. Asfaldikihi temperatuur võib FWD mõõtmiste ajal varieeruda vahemikus +5...+35°C. Seega tuleks deformatsioonid taandada ka

arvutuslikule temperatuurile. Kindlasti ei ole temperatuuri mõju kõikide andurite mõõtetulemustele samasugune – ilmselt avaldab temperatuur koormusest kaugemal paiknevate andurite mõõtmistulemustele vähem mõju.

Eestis ei ole FWD mõõtmistulemuste temperatuuriparandustegureid seni leitud. Elastsete katendite projekteerimisjuhendi (2001-52) alusel arvutatakse katend elastsele vajumile temperatuuril +10°C. A. Aavik leidis oma doktoritöös [1] FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud katendi üldise E-mooduli temperatuuriparandustegurid ( $K_t$ ) baastemperatuurile (10°C) sõltuvalt bituumensideainega töödeldud kihi tüübist ja keskmisest temperatuurist (T) (tabel 2.2).

**Tabel 2.2**

**Asfaldisegust kihtide temperatuuriparandustegurid**

Katte tüüp	Temperatuuriparandustegur ( $K_t$ )
Asfaltbetoon	$K_t = 0,000203 T^2 - 0,014841 T + 1,127603$
Mustkate	$K_t = 0,000205 T^2 - 0,015198 T + 1,135192$

Mõõdetud deformatsioonide taandamine normkoormusele ja baastemperatuurile +10°C:

$$d_{r\ 50kNT} = d_r * (F_{\text{vajalik}} / F_{\text{mõõdetud}}) * K_t \quad (2.2)$$

- kus:  $d_{r\ 50kNT}$  - normkoormusele 50 kN ja baastemperatuurile +10°C vastav deformatsioon,  $\mu\text{m}$ ;  
 $d_r$  - FWD-ga mõõdetud deformatsioon koormusplaadi kontaktsurvele  $F_{\text{mõõdetud}}$  (kPa),  $\mu\text{m}$ ;  
 $F_{\text{vajalik}}$  - 50 kN koormusele vastav koormusplaadi kontaktsurve ( $F_{\text{vajalik}} = 707$  kPa);  
 $K_t$  - temperatuuriparandustegur (tabel 2.2).

**2.2. Vajumikausi parameetrite arvutus**

Normkoormusele ja baastemperatuurile +10°C taandatud deformatsioonide alusel arvutatakse vajumikausi parameetrid:

- Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ( $d_0 - d_{300}$ ), mis iseloomustab ülemiste katendikihtide seisukorda:

$$SCI = d_{0\ 50kNT} - d_{300\ 50kNT} \quad (2.3)$$

- Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ( $d_{300} - d_{600}$ ), mis iseloomustab alusekihtide seisukorda:

$$BDI = d_{300\ 50kNT} - d_{600\ 50kNT} \quad (2.4)$$

- Base Curvature Index (BCI) e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ( $d_{1200} - d_{1500}$ ), mis iseloomustab aluspinnase seisukorda:

$$BCI = d_{1200\ 50kNT} - d_{1500\ 50kNT} \quad (2.5)$$

### 2.3. Vajumikausi parameetrite lubatavad piirväärtused

Praktilise töö käigus tuleks määrata liiklusloenduse andmete põhjal vastava teelõigu koormussagedus, mille kaudu on võimalik arvutada vähim vajalik E-moodul (vt. p. 1.2). Sisestades nõutava E-mooduli ( $E_{vaj}$ ) väärtuse võrrandisse (2.6) saab arvutada suurima lubatava vajumikausi parameetri ehk selle piirväärtuse antud teelõigu kohta. Katteliikide määramisel tuleb lähtuda Riikliku Teeregistri andmetest, sest nimetatud võrrandid on leitud nende andmete põhjal.

Vajumikausi parameetrite piirväärtuste arvutamise võrrandil on astmefunktsiooni kuju:

$$y = a_0 * x^{a_1} \quad (2.6)$$

- kus  $x$  - nõutav (vajalik) E-moodul  $E_{vaj}$ , MPa (vt. p. 1.2);  
 $y$  – otsitav vajumikausi parameeter (SCI, BDI, BCI);  
 $a_0, a_1$  – konstandid vastavalt tabelile 2.3.

**Tabel 2.3**

**Konstantide  $a_0$  ja  $a_1$  väärtused vajumikausi parameetrite suurimate lubatavate piirväärtuste arvutamise võrrandis (2.6)**

Katteliik	Vajumikausi parameeter y	Konstantide väärtused		R <sup>2</sup>
		a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	
TAB-kate olemasolevale kattele	SCI	1 795 660	-1,70	0,83
	BDI	1 265 966	-1,74	0,78
	BCI	51 220	-1,36	0,68
TAB-kate tasandus-freesimisele	SCI	655 780 050	-2,76	0,87
	BDI	15 319 713 999	-3,47	0,93
	BCI	11 182	-1,13	0,09
TAB-kate tasanduskihiga	SCI	169 150 407	-2,54	0,92
	BDI	104 111	-1,27	0,38
	BCI	-	-	-
TAB-kate bituumenstabil. alusega	SCI	88 410	-1,113	0,54
	BDI	62 337	-1,161	0,51
	BCI	985 977	-1,909	0,35
TAB-kate kompleksstabil. alusega	SCI	1 225 980	-1,63	0,53
	BDI	137 949	-1,307	0,85
	BCI	497,43	-0,492	0,14
TAB-kate killustik-alusega	SCI	498 577	-1,45	0,87
	BDI	10 645	-0,84	0,21
	BCI	51 984	-1,31	0,61
Mustkate	SCI	834 463	-1,55	0,97
	BDI	2 055 457	-1,84	0,94
	BCI	983 446	-1,99	0,84
Põlevkivi-tuhkbetoonkate	SCI	2 491	-0,44	0,14
	BDI	1 325 498	-1,80	0,75
	BCI	12 473 680	-2,43	0,44
Pinnatud kruusatee	SCI	13 705	-0,72	0,66
	BDI	258 341 445	-2,83	0,96
	BCI	255 760	-1,87	0,95

#### **2.4. Vajumikausi parameetrite BDI, SCI ja BCI väärtuste võrdlus maksimaalselt lubatavate piirväärtustega ja homogeenste lõikude ümberformeerimine**

Peale vajumikausi parameetrite tegelike väärtuste (p. 2.2) ja maksimaalselt lubatavate piirväärtuste (p. 2.3) arvutamist võrreldakse esimesi viimastega ja juhul, kui:

- Arvutatud tegelik SCI väärtus on suurem, kui tema maksimaalselt lubatav piirväärtus ( $SCI > SCI_{\text{piir}}$ ), esineb meil probleeme ülemistes katendi kihtides (kuni 30 cm sügavuseni) ja mis tuleb meil remondiga kõrvaldada.
- Arvutatud tegelik BDI väärtus on suurem, kui tema maksimaalselt lubatav piirväärtus ( $BDI > BDI_{\text{piir}}$ ), esineb meil probleeme teekonstruktsioonis 30-60 cm sügavusel.
- Arvutatud tegelik BCI väärtus on suurem, kui tema maksimaalselt lubatav piirväärtus ( $BCI > BCI_{\text{piir}}$ ), esineb meil probleeme ilmselt aluspinnases (120-150 cm sügavuses).

*Vastavalt probleemide esinemise aukohale tuleb katendi üldise E-mooduli alusel formeeritud homogeenste lõigud (p. 1.3) ümber formeerida, arvestades teatud sügavusel teekonstruktsioonis esinevate probleemide kõrvaldamise vajadusega ja selleks kasutatavate erinevate tehnoloogiatega kavandatava remondi käigus.*

### 3. DEFJEKTSE TEEKONSTRUKTSIOONI ALLA JÄÄVA KONSTRUKTSIOONI-OSA ÜLDISE E-MOODULI MÄÄRAMINE FWD MÕÕTMISTULEMUSTE ALUSEL

Dünaamilise koormuse all tekkivaid katendi deformatsioone (vajumiskaussi) mõõdetakse Eestis Dynatest FWD 8000 seadme 7 anduriga, millest üks on paigutatud koormusplaadi keskpunkti ja ülejäänud viimasest vastavalt 300, 600, 750, 900, 1200 ja 1500 mm kaugusele ( $r$ , mm). Siia maani on Eestis rakendust leidnud vaid koormusplaadi tsentris asuva anduri mõõtmistulemused, mille järgi on võimalik arvutada katendi üldine E-moodul (kattekihtide peal). Samas on remontide projekteerimisel oluline hinnata olemasoleva teekonstruktsiooni kandevõimet ka katte pinnast allpool ehk siis sügavusel, mis jääb vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI ja nende piirväärtuste võrdlemisel leitud probleemsest (defektsest) katendikonstruktsiooni kihist allapoole. Teades olemasoleva konstruktsiooni elastsusmoodulit teatud sügavusel on lihtne konstrueerida sellele nõutava tugevusega katendikonstruktsioon kasutades Elastsete teekatendite projekteerimise juhendit 2001-52 [4].

E-moodul koormusplaadi keskpunktist ekvivalentsel sügavusel  $r$  asetsevate kihtide pinnal avaldub kujul [11]:

$$E_r = 0,25FS^2(1-\nu^2)/(d_r * r) \quad (3.1)$$

kus:  $E_r$ - kihtide üldine E-moodul ekvivalentsel sügavusel  $r$ , MPa;  
 $F$  – kontaktsurve koormusplaadi all, kPa;  
 $S$  – koormusplaadi diameeter, mm;  
 $\nu$  – Poisson'i tegur;  
 $d_r$  – deformatsioon kaugusel  $r$  koormusplaadi keskpunktist,  $\mu\text{m}$ ;  
 $r$  – kaugus andurist kuni koormusplaadi keskpunktini, mm.

Üldine E-moodul FWD mõõtmistulemuste alusel sügavusel  $r$  on arvutatav seosega (3.1).

Kattekihtidest allpool asetsevate kihtide FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud E-mooduleid mõjutab ka kattekiht ise. Seega tuleb arvesse võtta bituumensideainega töödeldud kihi keskmine temperatuur FWD mõõtmise teostamise ajal ( $T$ ). Samuti tuleb arvestada kuud, mil FWD mõõtmine teostati ( $M$ ), sest kuutegurid iseloomustavad muldkeha pinnaste omaduste (nt. niiskusesisaldus) muutumist ajas. Samuti on A.Aavik oma doktoritöös [1] leidnud, et küllaltki suurt mõju avaldavad katendi elastsusmoodulile ka mulde kõrgus ( $H$ ) ja niiskuspakkonna tüüp ( $N$ ).

Arvestades eeltoodut võtab arvesse teekonstruktsiooni üldise E-mooduli arvutamiseks FWD mõõtmistulemuste alusel katte pinnast sügavusel  $r$  seega järgmise kuju:

$$E_{r-eq2001-52} = C * E_r^e * T^t * M_i * H_j * N_k \quad (3.2)$$

kus:  $E_{r-eq2001-52}$  – üldine E-moodul katte pinnast r mm sügavusel, mis on võrreldav 2001-52 meetoodika alusel arvatuga;  
 $E_r$  – üldine E-moodul katte pinnast r mm sügavusel (arvutatud seosega (3.1));  
T – bituumensideainega töödeldud kihi keskmine temperatuur FWD-ga mõõtmise ajal, °C;  
 $M_i$  – tegur, mis arvestab konkreetset kuud, millal toimus FWD-ga mõõtmine ( $i=4\dots10$ , aprill - oktoober);  
 $H_j$  – tegur, mis võtab arvesse mulde kõrguse FWD mõõtmispunktis ( $j<0,5$  m,  $j=0,5\dots1$  m,  $j>1$  m);  
 $N_k$  – tegur, mis võtab arvesse niiskuspaikkonna tüüpi FWD mõõtmispunktis ( $k=1, 2, 3$ );  
C, e, t – empiirilised konstandid.

Empiiriliste konstantide C, e ja t ning tegurite  $M_i$ ,  $H_j$  ja  $N_k$  väärtuste määramiseks on meil vaja sarnaselt katendikonstruktsiooni üldise E-mooduliga arvutada ka katendikonstruktsiooni üldised E-moodulid katte pinnast sügavusel r ( $E_{r-eq2001-52}$ ), kasutades selleks Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 [4] meetoodikat ning võrrelda omavahel  $E_{r-eq2001-52}$  ja  $E_r$  väärtuseid. Konstantide C, e ja t ning tegurite  $M_i$ ,  $H_j$  ja  $N_k$  väärtuste määramised teostati kasutades käesoleva Lepingu Informatsioonis 1 (2006-11/I1) [11] esitatud meetoodikat sarnaste konstantide ja tegurite leidmiseks katendi üldise E-mooduli arvutamiseks.

### 3.1. Seos FWD mõõtmistulemuste ja 2001-52 juhendi alusel arvatud E-moodulite vahel katte pinnast sügavusel r analüüsid eraldi mulde kõrgust, niiskuspaikkonda ja katte tüüpi

Esimeses lähenduses püüti leida seost (3.2) katte pinnast sügavustel 300, 600 ja 900 mm kõigi FWD 1999-2006.a. kontrollmõõtepunktide mõõtmistulemuste alusel jagades 50 mõõtepunkti kõigepealt mulde kõrguse ja seejärel niiskuspaikkonda tüübi alusel (tabel 3.1).

Seoste leidmise tulemused on esitatud tabelis 3.1 ja nagu selgub, on seosed juhendi 2001-52 alusel teatud sügavusel arvatud E-mooduli, FWD mõõtmistulemuste (deformatsioon ja koormus), mõõtmisaegse temperatuuri ja mõõtmiste teostamise kuu vahel äärmiselt nõrgad (determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtused jäävad vahemikku 0,004 – 0,46) ja ei ole mõeldav sellise tugevusega seoste kasutamine projekti tasandil teekonstruktsiooni E-mooduli määramiseks.

Seetõttu on teises lähenduses püütud leida ülalnimetatud seoseid ka katte tüübist lähtudes, kus 50 FWD kontrollmõõtmispunkti jagati kolmeks eri kattetüübiks:

- Asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega (mis omakorda jagunes kogupaksuse alusel kolmeks: kuni 130 mm, 130-200 mm ja üle 200 mm);
- Asfaltbetoonkate;
- Mustkate.

Kuid ka see lähenemine ei andnud soovitud tulemust – seos jäi endiselt nõrgaks (determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtused jäid nüüd vahemikku 0,01 – 0,5) (tabel 3.2).

Tabel 3.1

FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestava teguri  $M_i$  ja empiiriliste konstantide  $C$ ,  $e$  ja  $t$  väärtused E-mooduli arvutamiseks sügavusel  $r$  (mm) katte pinnast seoses (3.2) sõltuvalt mulde kõrgusest  $H$  ja niiskuspaikkonna tüübist  $N$

Sügavus katte pinnast	Mulde kõrgus	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Empiirilised konstandid			$R^2$
		$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$t$	$e$	$C$	
r=300 mm	H<0,5m	1	0,908977	0,817931	0,72546	0,792715	0,769295	0,69823	-0,03104	0,975804	6,753849	0,46
	H0,5-1m	1	0,960802	0,920839	0,924855	0,951141	0,966941	0,988469	0,062186	0,124842	33,35161	0,03
	H>1m	1	1,000667	1,000584	0,997218	0,993032	0,990529	0,975837	-0,0119	0,137654	48,09403	0,05
r=600 mm	H<0,5m	1	0,865297	0,738615	0,66033	0,757649	0,794207	0,798277	0,12629	0,836792	6,658902	0,21
	H0,5-1m	1	0,904976	0,805986	0,80458	0,839492	0,85437	0,859364	0,091877	0,664633	1,899475	0,24
	H>1m	1	1,002159	1,011651	0,998963	0,995546	0,993077	0,989356	-0,01676	0,096782	54,86181	0,02
r=1500 mm	H<0,5m	1	0,912748	0,850088	0,770854	0,894037	0,949908	0,949952	0,12976	0,290536	10,81602	0,09
	H0,5-1m	1	1,036981	1,042411	1,039341	1,049483	1,026886	0,997443	-0,04973	-0,05806	79,54392	0,01
	H>1m	1	0,940614	0,941154	0,954974	0,917368	0,927596	0,971642	0,031533	0,124618	23,02645	0,02
Sügavus katte pinnast	Niiskus- paikkond	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Empiirilised konstandid			$R^2$
		$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$t$	$e$	$C$	
r=300 mm	N1	1	0,96374	0,941238	0,884719	0,92772	0,924101	0,903788	-0,00319	0,475789	7,039036	0,17
	N2	1	0,981333	0,962524	0,966376	0,989373	1,003759	1,011293	0,036432	-0,03858	92,80878	0,004
	N3	1	0,963848	0,901997	0,964858	0,919835	0,903724	0,940338	0,042253	0,24877	27,96054	0,21
r=600 mm	N1	1	1,003517	0,995374	0,956825	0,997248	1,00249	0,987714	-0,00829	0,144012	33,14854	0,01
	N2	1	0,956064	0,908196	0,91547	0,959437	1,000981	1,039995	0,109646	-0,1017	81,8002	0,01
	N3	1	0,94312	0,830459	0,910248	0,861638	0,846883	0,89537	0,063374	0,501131	6,867147	0,25
r=1500 mm	N1	1	1,037587	1,058287	1,013724	1,07572	1,066165	1,01853	-0,04174	-0,26396	324,839	0,15
	N2	1	0,998623	0,990244	0,995195	0,980788	0,976467	0,984368	-0,01139	-0,13317	104,3235	0,01
	N3	1	1,055089	0,981099	1,049412	1,004161	0,961294	0,899997	-0,04313	0,218966	20,82048	0,03

Märkus:  $H_j$  ja  $N_k$  väärtused seoses (3.2) =1,0

Tabel 3.2

FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestava teguri  $M_i$  ja empiiriliste konstantide  $C$ ,  $e$  ja  $t$  väärtused E-mooduli arvutamiseks sügavusel  $r$  (mm) katte pinnast seosega (3.2) sõltuvalt katte tüübist

Sügavus katte pinnast	Katte tüüp	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Empiirilised konstandid			$R^2$
		$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$t$	$e$	$C$	
r=300 mm	AB+BS>200	1	0,996299	0,969856	0,956929	0,974195	0,939217	0,908036	0,425172	-0,03116	9,966947	0,17
	AB+BS130-200	1	1,004728	1,009402	1,01362	1,017011	1,024473	1,016218	-0,13681	0,008366	206,5885	0,07
	AB+BS<130	1	1,037486	1,065576	1,078437	1,069975	1,074029	1,06297	-0,39106	0,00274	700,1264	0,12
	AB	1	1,032425	1,008535	1,008099	1,038549	1,006389	0,989497	-0,16626	-0,03138	230,5985	0,02
	MK	1	0,922174	0,814372	0,913497	0,886505	0,895498	0,921251	0,24028	0,103209	18,90513	0,08
r=600 mm	AB+BS>200	1	0,996434	0,975561	0,957073	0,981776	0,957986	0,924977	0,523735	-0,05728	5,16781	0,16
	AB+BS130-200	1	0,999339	0,994285	0,999513	1,012283	1,027436	1,01455	-0,10869	0,021704	126,5865	0,01
	AB+BS<130	1	1,059704	1,147657	1,136943	1,15436	1,152488	1,129283	-0,80043	0,029481	4530,508	0,39
	AB	1	1,069873	1,069253	1,071011	1,102924	1,042732	1,007218	-0,48232	-0,02318	1048,19	0,17
	MK	1	0,886827	0,688219	0,846803	0,771247	0,770415	0,843175	0,671272	0,147003	1,412865	0,18
r=1500 mm	AB+BS>200	1	1,029106	1,006934	1,021266	1,027653	0,993384	0,945831	0,163278	-0,06329	26,93448	0,05
	AB+BS130-200	1	0,927639	0,864712	0,912968	0,902406	0,943051	0,991661	0,727018	0,13207	1,098999	0,10
	AB+BS<130	1	1,017421	1,061375	0,981332	1,066061	1,097243	1,070621	-0,47793	0,016008	976,297	0,50
	AB	1	1,045004	0,969648	1,002865	1,026172	0,982354	0,95605	0,162265	-0,0754	18,8133	0,07
	MK	1	1,127286	1,159466	1,158282	1,108107	1,030394	0,9775	0,277023	-0,15354	22,21724	0,09

Märkus:  $H_j$  ja  $N_k$  väärtused seoses (3.2) =1,0

- AB+BS>200 - asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega kogupaksusega üle 200 mm
- AB+BS130-200 - asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega kogupaksusega 130-200 mm
- AB+BS<130 - asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega kogupaksusega alla 130 mm
- AB - asfaltbetoonkatted
- MK - mustkatted



### 3.2. Seos FWD mõõtmistulemuste ja 2001-52 juhendi alusel arvatud E-moodulite vahel katte pinnast sügavusel $r$ analüüsid koos mulde kõrgust ja niiskuspakkonda

Kuna punktis 3.1 esitatud seoste otsingud erinevate parameetrite vahel ei andnud soovitud tulemust, siis otsustasime suurendada andmetöötluses ühekorruga käsitlevate andmete mahtu ühe FWD kontrollmõõtmispunkti kohta ehk teisisõnu koondada ühte analüüsiprotsessi kõik seoses (3.2) esitatud E-mooduli väärtust mõjutavad parameetrid:

- FWD mõõtmiste teostamise kuu;
- Bituumensideainetega töödeldud kattekihi keskmine temperatuur;
- Mulde kõrgus;
- Niiskuspakkonna tüüp.

Esimeses lähenduses jätsime analüüsist välja mulde kõrguse mõju. Analüüsi tulemused seose (3.2) kasutamiseks on esitatud tabeli 3.3 ülemises osas. Jällegi on saadud tulemused praktilise kasutamise seisukohalt negatiivsed – determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtus, mis iseloomustab FWD mõõtmistulemuste ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast teatud sügavusel arvatud E-moodulite omavahelist seost, on vahemikus 0,04 – 0,11, mis näitab seose praktilist puudumist.

Edasi püüame otsitavat seost parandada, võttes analüüsis arvesse ka mulde kõrguse. Analüüsi tulemused seose (3.2) kasutamiseks on esitatud tabeli 3.3 alumises osas. Mulde kõrguse arvestamine tõstis determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtust nimetamisväärselt, olles nüüd vahemikus 0,11 – 0,36, mis näitab juba nõrga, kuid käesoleva teadustöö raames seni parima seose olemasolu FWD mõõtmistulemuste ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast teatud sügavusel arvatud E-moodulite vahel. Nimetatud seosed on illustreeritud ka joonistega 3.1 kuni 3.12.

Kui võrrelda juhendi 2001-52 alusel arvatud E-moduleid seosega (3.2) (kasutades parameetreid tabeli 3.3 alumisest osast) arvatud E-moodulite väärtustega (joonised 3.7 – 3.12) selgub, et:

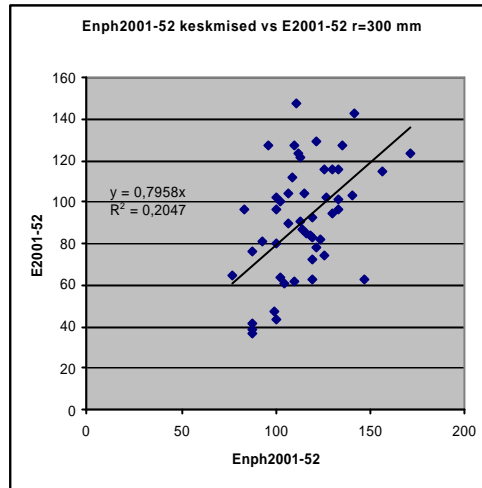
- FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud E-moodulid järgivad suhteliselt hästi 2001-52 juhendi alusel arvatud E-moodulite suuruse muutust, mis viitab sellele, et FWD teiste andurite (peale nn. 0-anduri) poolt mõõdetud deformatsioonid on usaldusväärsete seoste olemasolul kasutatavad ekvivalentsel sügavusel oleva konstruktsiooni E-mooduli arvutamiseks;
- Kuni sügavuseni 900 mm katte pinnast on FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud E-moodulite ja 2001-52 juhendi alusel arvatud E-moodulite väärtuste erinevus väiksem, kui sügavusel 1200 ja 1500 mm, mis viitab sellele, et koormusplaadi tsentrist 1200 ja 1500 mm kaugusel olevate andurite mõõdetud deformatsioonid iseloomustavad nimetatud sügavustel olevate pinnaste E-moodulit halvemini;
- Sügavusel 1200 ja 1500 mm katte pinnast on FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud E-moodulite väärtuste hajuvus keskvärtuse ümber väiksem, kui juhendi 2001-52 alusel määratud pinnaste E-moodulid, mis samuti kinnitab eelmist järeldust.

Kuid vaatamata leitud seostele, ei ole siiski saadud tegurid ja konstandid (tabel 3.3) kasutatavad projekti tasandil teekonstruktsiooni E-mooduli määramiseks teatud sügavusel seosega (3.2) tingituna tulemuste väikesest tõenäosusest.

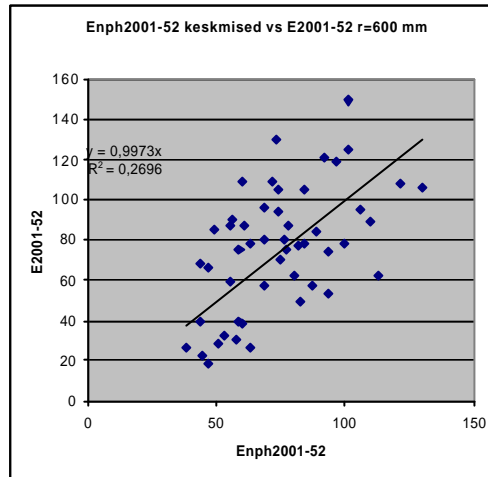
**Tabel 3.3**

FWD mõõtmiste teostamise kuud ( $M_i$ ), niiskuspaikkonda ( $N_k$ ) ja mulde kõrgust ( $H_j$ ) arvestavate tegurite ja empiiriliste konstantide C, e ja t väärtused E-mooduli arvutamiseks sügavusel r (mm) katte pinnast seosega (3.2) kõigi FWD mõõtmispunktide (50) 1999-2006.a. andmete baasil

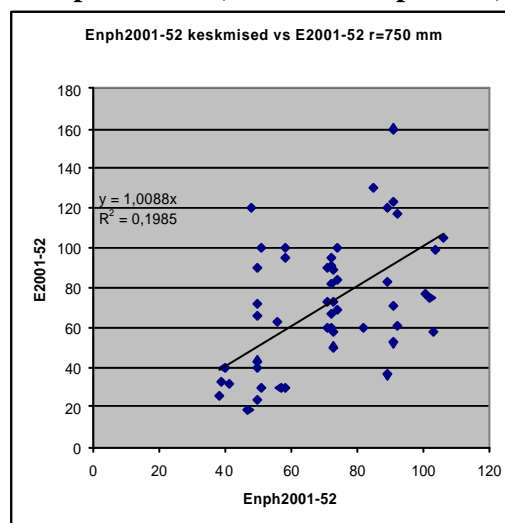
Analüüsis kasutatud kõigi FWD mõõtmispunktide andmeid. Lisaks mõõtmiste teostamise kuule arvestatud ka niiskuspaikkonda.																		
Sügavus katte pinnast, mm	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Mulde kõrgust arvestav tegur $H_j$			Niiskuspaikkonna tüüpi arvestav tegur $N_k$			Empiirilised konstandid			$R^2$	Märkused
	$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$H_{<0,5}$	$H_{0,5-1}$	$H_{>1}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	e	t	C		
r=300	1,000	0,963	0,934	0,923	0,943	0,953	0,964	1,000	1,000	1,000	1,000	0,975	1,251	0,247	0,038	21,367	0,11	
r=600	1,000	0,956	0,911	0,906	0,941	0,966	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	0,961	1,340	0,169	0,071	23,665	0,06	
r=750	1,000	0,984	0,974	0,962	0,992	1,011	1,031	1,000	1,000	1,000	1,000	0,926	1,176	-0,069	0,054	82,829	0,04	
r=900	1,000	0,969	0,948	0,932	0,946	0,955	0,969	1,000	1,000	1,000	1,000	1,016	1,217	0,222	0,040	16,892	0,04	
r=1200	1,000	0,991	0,986	0,965	0,985	0,992	1,010	1,000	1,000	1,000	1,000	0,801	0,881	-0,057	0,025	79,813	0,04	
r=1500	1,000	0,992	0,995	0,985	0,980	0,980	0,978	1,000	1,000	1,000	1,000	0,827	0,763	0,049	-0,002	45,461	0,04	
Analüüsis kasutatud kõigi FWD mõõtmispunktide andmeid. Lisaks mõõtmiste teostamise kuule arvestatud ka mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda.																		
Sügavus katte pinnast, mm	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Mulde kõrgust arvestav tegur $H_j$			Niiskuspaikkonna tüüpi arvestav tegur $N_k$			Empiirilised konstandid			$R^2$	Seost illustreeriva joonise nr.
	$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$H_{<0,5}$	$H_{0,5-1}$	$H_{>1}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	e	t	C		
r=300	1,000	1,273	1,240	1,223	1,244	1,260	1,282	1,000	0,952	1,216	1,000	0,915	1,237	0,243	0,042	20,487	0,23	3.1; 3.7
r=600	1,000	0,943	0,906	0,895	0,916	0,945	0,988	1,000	0,931	1,622	1,000	0,843	1,354	0,225	0,074	14,898	0,36	3.2; 3.8
r=750	1,000	0,968	0,960	0,942	0,960	0,981	1,017	1,000	0,671	1,231	1,000	0,808	1,173	0,047	0,054	50,285	0,33	3.3; 3.9
r=900	1,000	0,955	0,934	0,913	0,921	0,931	0,957	1,000	0,610	0,965	1,000	0,902	1,157	0,316	0,044	13,280	0,26	3.4; 3.10
r=1200	1,000	0,988	0,979	0,957	0,980	0,988	1,014	1,000	0,655	0,739	1,000	0,775	0,843	-0,030	0,025	96,336	0,10	3.5; 3.11
r=1500	1,000	0,986	0,976	0,967	0,966	0,962	0,960	1,000	0,599	0,572	1,000	0,838	0,735	0,180	-0,007	37,111	0,11	3.6; 3.12



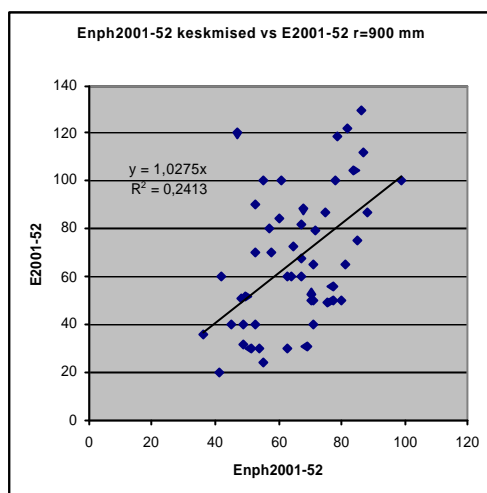
**Joonis 3.1** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast **300 mm** sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (kõik mõõtmispunktid)



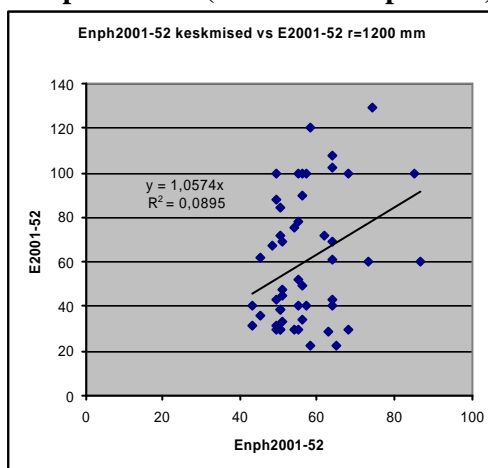
**Joonis 3.2** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast **600 mm** sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (kõik mõõtmispunktid)



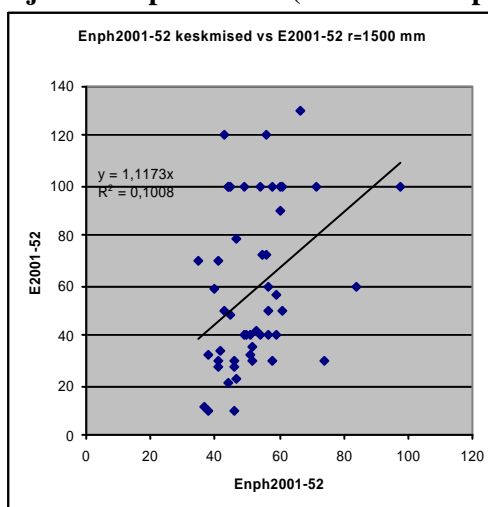
**Joonis 3.3** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast **750 mm** sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (kõik mõõtmispunktid)



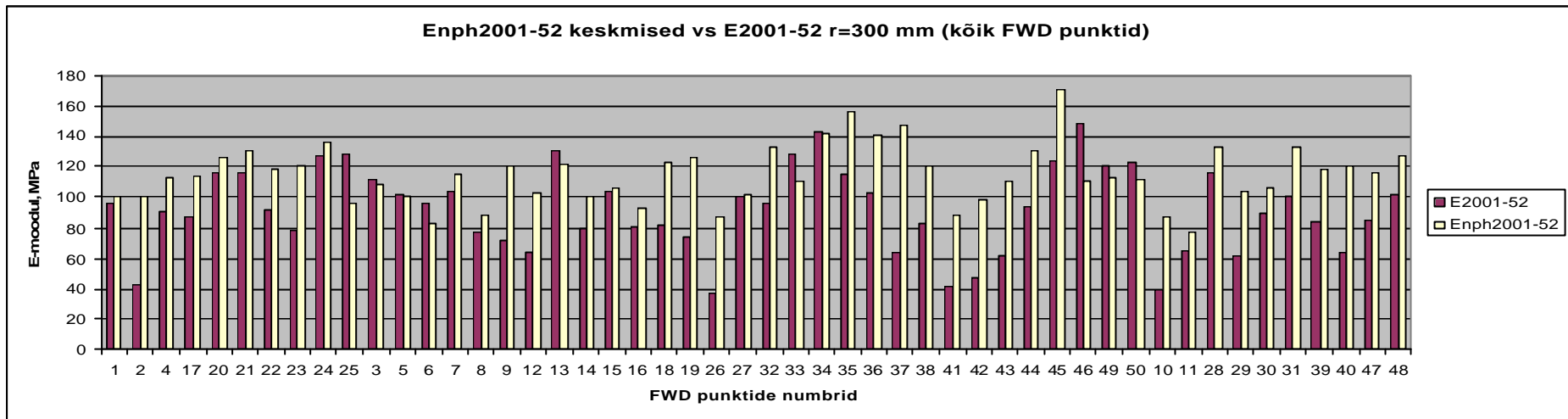
**Joonis 3.4** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast **900 mm** sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)



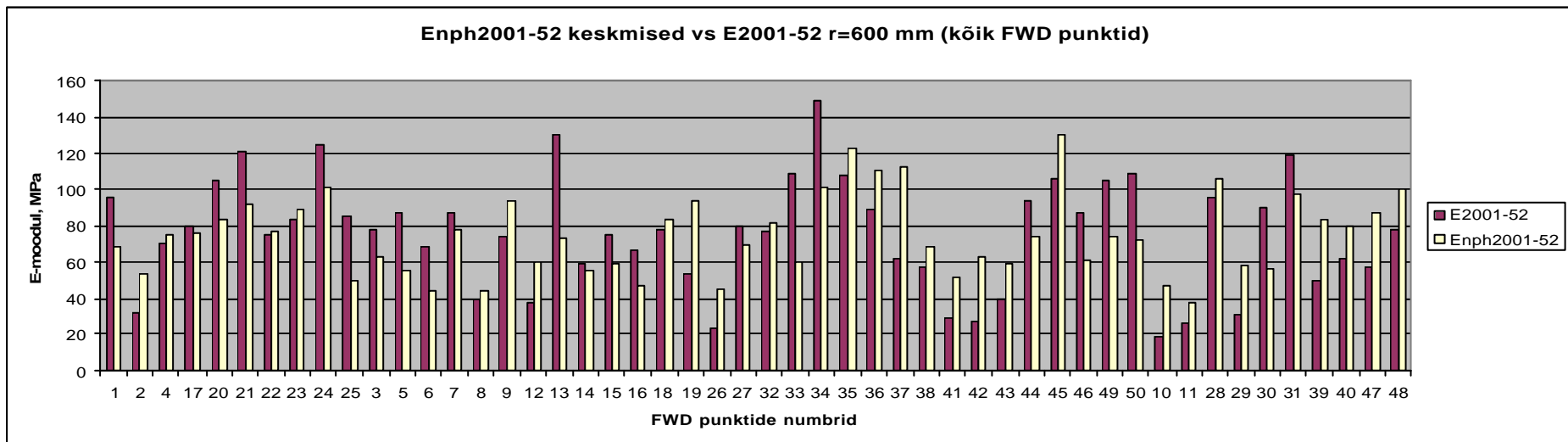
**Joonis 3.5** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast **1200 mm** sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)



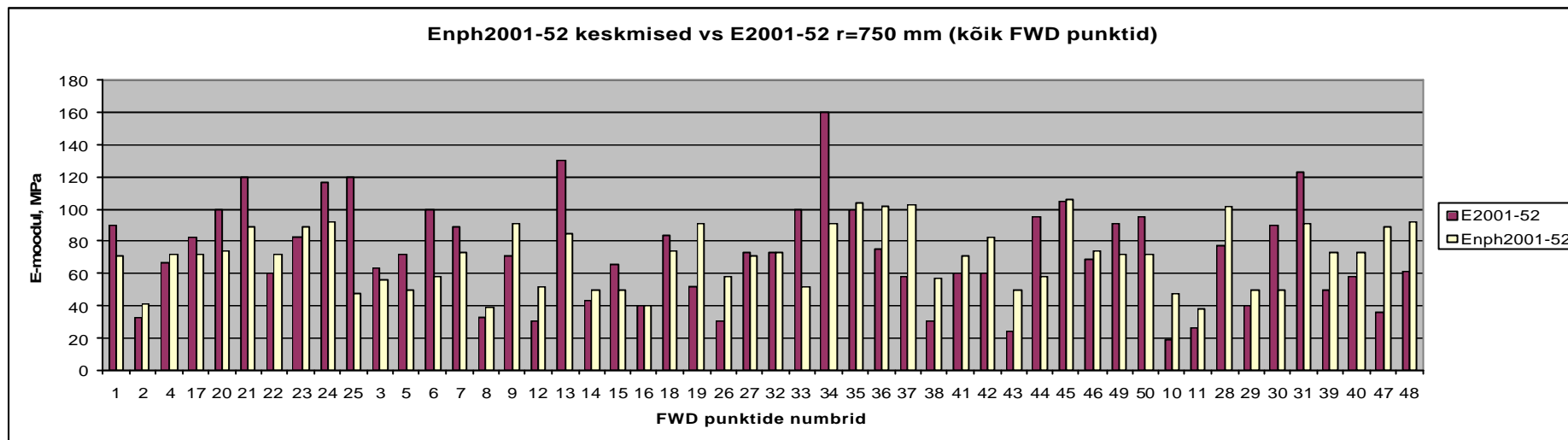
**Joonis 3.6** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast **1500 mm** sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)



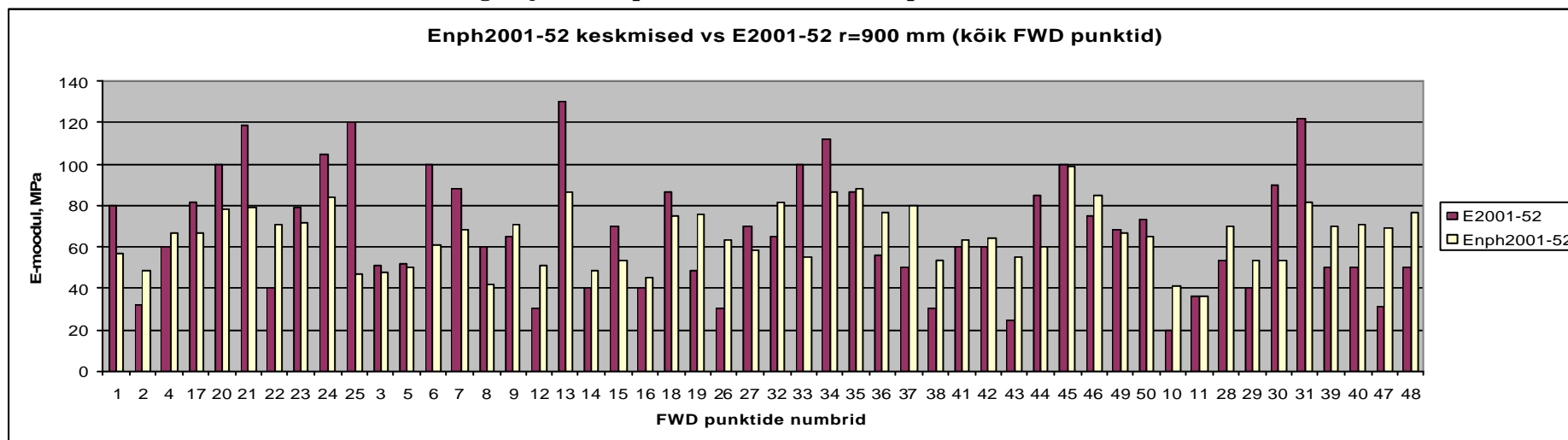
**Joonis 3.7** Juhendi 2001-52 alusel ja FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) katte pinnast 300 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (kõik mõõtmispunktid)



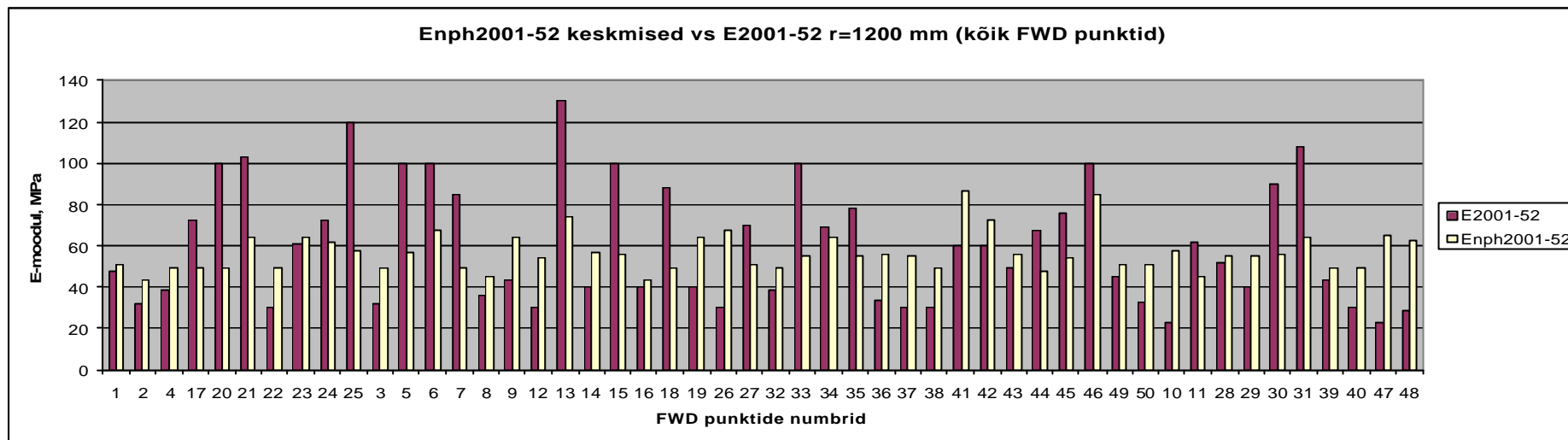
**Joonis 3.8** Juhendi 2001-52 alusel ja FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) katte pinnast 600 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (kõik mõõtmispunktid)



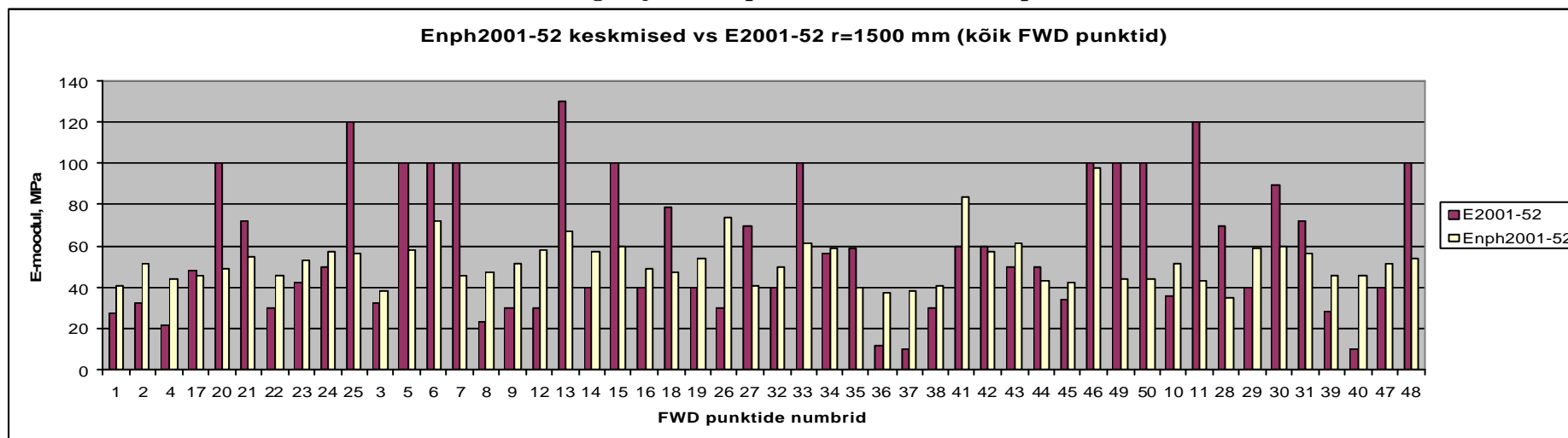
**Joonis 3.9** Juhendi 2001-52 alusel ja FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) katte pinnast 750 mm sügavusel arvatatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)



**Joonis 3.10** Juhendi 2001-52 alusel ja FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) katte pinnast 900 mm sügavusel arvatatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)



**Joonis 3.11** Juhendi 2001-52 alusel ja FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) katte pinnast 1200 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)



**Joonis 3.12** Juhendi 2001-52 alusel ja FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.3) katte pinnast 1500 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (kõik mõõtmispunktid)

### 3.3. Seos FWD mõõtmistulemuste ja 2001-52 juhendi alusel arvatud E-moodulite vahel katte pinnast sügavusel $r$ analüüsid koos mulde kõrgust, niiskuspakkonda ja katte tüüpi

Kuna punktis 3.2 esitatud seoste otsinguil näitas parimat korrelatsiooni FWD mõõtmistulemuste alusel teekonstruktsiooni teatud sügavusel arvatud E-mooduli ja juhendi 2001-52 alusel samal sügavusel arvatud E-mooduli vahel analüüsitulemus (tabel 3.3 alumine osa), kus lähteandmetena kasutati järgmisi parameetreid:

- FWD mõõtmiste teostamise kuu,
- Bituumensideainetega töödeldud kattekihi keskmine temperatuur,
- Mulde kõrgus,
- Niiskuspakkonna tüüp,

siis on ilmselt otstarbekas determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtuse tõstmiseks 50 FWD kontrollmõõtepunkti jagada analüüsiks veel ka katte tüübi alusel sarnaselt punktis 3.1 esitatule:

- Asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega (mis omakorda jaguneb kogupaksuse alusel kolmeks: kuni 130 mm, 130-200 mm ja üle 200 mm);
- Asfaltbetoonkate;
- Mustkate.

Lähteandmete analüüs teostati jällegi käesoleva teadustöö Informatsioonis 1 (2006-11/I1) [11] esitatud meetodikat (Microsoft Excel'i Linest funktsiooni ja Cobb-Douglas'e võrrandi põhimõtet) kasutades.

Analüüsitulemused ehk seoses (3.2) kasutatavad tegurid ja konstandid teekonstruktsiooni E-mooduli arvutamiseks teatud sügavusel katte pinnast:

- FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestavad tegurid  $M_i$ ;
- Mulde kõrgust arvestavad tegurid  $H_j$ ;
- Niiskuspakkonna tüüpi arvestavad tegurid  $N_k$ ;
- Empiirilised konstandid  $e$ ,  $t$ ,  $C$

on esitatud tabelis 3.4 iga analüüsis kasutatud kattetüübi ( $AB+BS>200$  mm,  $AB+BS=130-200$  mm,  $AB+BS<130$  mm, AB, MK) jaoks kõigil sügavustel katte pinnast, mis vastavad FWD deformatsiooniandurite paigutusele ( $r=300, 600, 750, 900, 1200, 1500$  mm).

Analüüsitulemused (tabel 3.4) näitavad, et determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtused, mis iseloomustavad seose olemasolu FWD mõõtmistulemuste ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast teatud sügavusel arvatud E-moodulite vahel, on kasvanud, mahtudes vahemikku 0,24-0,99. Enamust leitud seostest võib determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtuste alusel nimetada headeks, väga headeks ja isegi suurepäraseks. Seda illustreerivad ka joonised 3.13 – 3.42, kus FWD mõõtmistulemuste alusel tabelis 3.4 esitatud tegurite ja konstantide ning seosega (3.2) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast teatud sügavusel arvatud E-moodulite väärtused on väga lähedased või langevad praktiliselt kokku.

Seega võiks esimeses lähenduses saadud tulemustega olla rahul ja tabelis 3.4 esitatud tegureid ja konstante võiks kasutada teekonstruktsiooni E-mooduli arvutamiseks ette antud sügavusel  $r$  vastavate kattetüüpide esinemise korral. Kuid suurema determinatsioonikordaja  $R^2$  väärtuse tagaajamisel ja analüüsigruppidele teatud piirangute kehtestamisega on iga erineva analüüsigrupi algandmete arv ehk analüüsigrupi haaratud FWD kontrollmõõtepunktide arv muutunud igas üksikus grupis väga väikeseks, vastavalt:



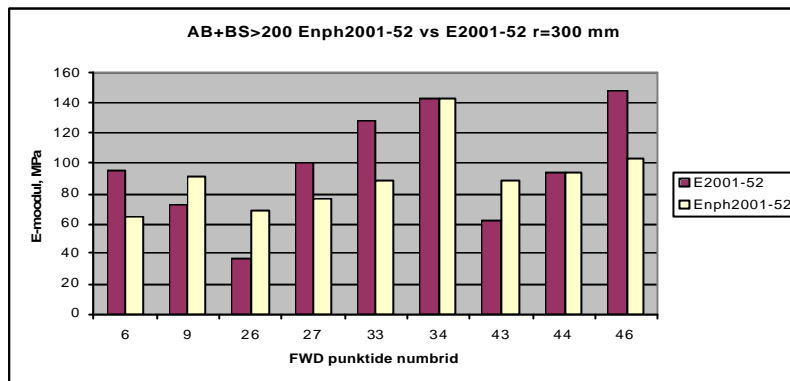
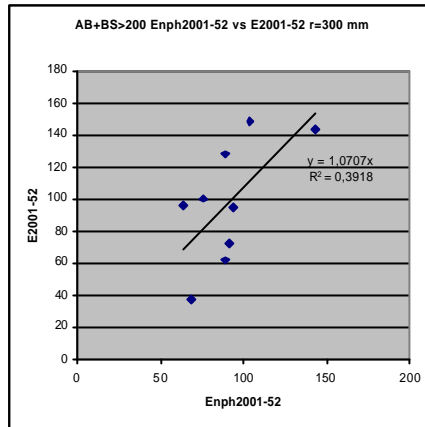
Tabel 3.4

FWD mõõtmiste teostamise kuud ( $M_i$ ), niiskuspakkonda ( $N_k$ ) ja mulde kõrgust ( $H_j$ ) arvestavate tegurite ja empiiriliste konstantide C, e ja t väärtused E-mooduli arvutamiseks sügavusel r (mm) katte pinnast seosega (3.2) erinevatele katte tüüpidele

Katte tüüp	Sügavus katte pinnast mm	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Mulde kõrgust arvestav tegur $H_j$			Niiskuspakkonna tüüpi arvestav tegur $N_k$			Empiirilised konstandid			$R^2$	Seost illustreeriv joonis nr.
		$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$H_{<0,5}$	$H_{0,5-1}$	$H_{>1}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	e	t	C		
AB+BS >200	r=300	1,000	0,985	0,934	0,922	0,937	0,901	0,875	1,000	0,762	1,201	1,000	1,010	1,188	0,654	-0,013	2,821	0,28	3.13
	r=600	1,000	0,968	0,895	0,893	0,901	0,876	0,864	1,000	0,821	1,901	1,000	1,295	2,141	1,054	-0,033	0,215	0,50	3.14
	r=750	1,000	0,922	0,803	0,819	0,797	0,787	0,797	1,000	0,542	2,104	1,000	3,296	5,308	1,980	-0,025	0,001	0,47	3.15
	r=900	1,000	0,910	0,783	0,804	0,775	0,775	0,805	1,000	0,552	2,002	1,000	4,517	6,899	2,156	-0,009	0,000	0,47	3.16
	r=1200	1,000	0,957	0,888	0,893	0,883	0,877	0,864	1,000	0,896	1,255	1,000	3,069	2,953	1,307	-0,035	0,033	0,26	3.17
	r=1500	1,000	0,998	0,952	0,951	0,958	0,929	0,887	1,000	1,100	1,039	1,000	3,181	1,996	0,979	-0,080	0,183	0,26	3.18
AB+BS 130-200	r=300	1,000	1,012	1,031	1,035	1,029	1,031	1,026	1,000	0,649	1,484	1,000	0,466	0,952	-0,253	0,001	622,111	0,90	3.19
	r=600	1,000	1,015	1,049	1,050	1,042	1,043	1,036	1,000	1,461	2,400	1,000	0,585	0,648	-0,437	0,006	612,885	0,97	3.20
	r=750	1,000	1,004	1,024	1,028	1,016	1,017	1,019	1,000	5,620	2,609	1,000	2,388	0,703	-0,276	0,007	55,763	0,98	3.21
	r=900	1,000	0,985	0,982	0,988	0,976	0,979	0,998	1,000	7,370	1,247	1,000	8,697	1,047	0,081	0,015	4,424	0,79	3.22
	r=1200	1,000	0,948	0,906	0,929	0,903	0,906	0,964	1,000	0,445	1,483	1,000	0,206	0,637	0,866	0,056	1,893	0,72	3.23
	r=1500	1,000	0,960	0,993	1,010	0,971	1,001	1,053	1,000	2,247	3,393	1,000	0,404	0,172	-0,783	0,060	2642,272	0,84	3.24
AB+BS <130	r=300	1,000	0,977	0,956	0,946	0,954	0,949	0,941	1,000	0,548	0,530	1,000	1,013	0,985	0,302	-0,008	29,011	0,66	3.25
	r=600	1,000	1,027	1,067	1,062	1,071	1,067	1,062	1,000	0,742	0,637	1,000	1,140	1,388	-0,358	0,007	527,862	0,75	3.26
	r=750	1,000	1,030	1,076	1,063	1,083	1,075	1,070	1,000	0,853	0,862	1,000	0,848	1,798	-0,416	0,008	533,375	0,82	3.27
	r=900	1,000	1,026	1,069	1,049	1,080	1,074	1,066	1,000	0,890	0,840	1,000	0,845	1,790	-0,398	0,009	485,584	0,81	3.28
	r=1200	1,000	1,023	1,066	1,027	1,078	1,080	1,076	1,000	0,917	0,597	1,000	0,738	1,436	-0,409	0,009	646,990	0,71	3.29
	r=1500	1,000	1,012	1,046	0,993	1,051	1,067	1,059	1,000	0,785	0,520	1,000	0,763	1,241	-0,350	0,003	594,221	0,72	3.30
AB	r=300	1,000	0,955	0,924	0,892	0,920	0,955	0,958	-	1,000	2,744	1,000	0,945	-	0,643	0,056	0,972	0,94	3.31
	r=600	1,000	0,957	0,906	0,887	0,908	0,946	0,958	-	1,000	4,120	1,000	0,852	-	0,633	-0,005	0,870	0,97	3.32
	r=750	1,000	0,956	0,907	0,895	0,910	0,949	0,971	-	1,000	3,751	1,000	0,844	-	0,486	0,011	1,855	0,92	3.33
	r=900	1,000	0,946	0,886	0,890	0,896	0,940	0,977	-	1,000	3,203	1,000	0,820	-	0,400	0,041	2,854	0,72	3.34
	r=1200	1,000	0,932	0,842	0,850	0,861	0,911	0,964	-	1,000	2,525	1,000	0,596	-	0,564	0,067	1,432	0,33	3.35
	r=1500	1,000	1,021	0,956	1,001	0,993	0,965	0,955	-	1,000	1,880	1,000	1,081	-	0,355	-0,068	3,335	0,24	3.36

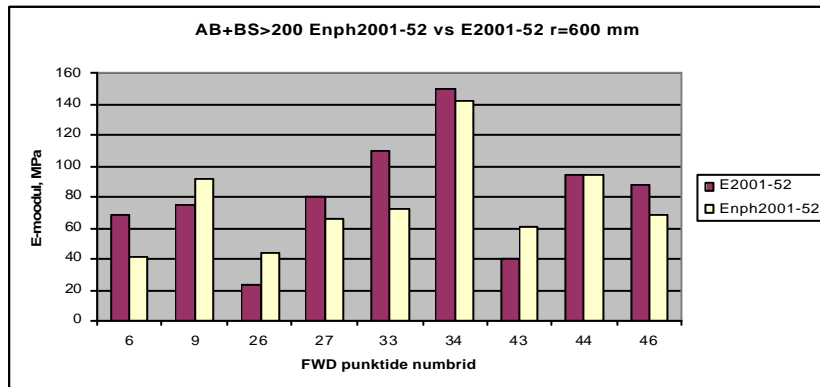
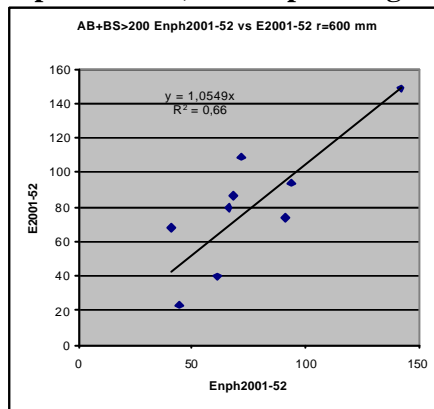
Katte tüüp	Sügavus katte pinnast mm	FWD mõõtmiste teostamise kuud arvestav tegur $M_i$							Mulde kõrgust arvestav tegur $H_j$			Niiskuspaikkonna tüüpi arvestav tegur $N_k$			Empiirilised konstandid			$R^2$	Seost illustreeriv joonis nr.
		$M_4$ apr.	$M_5$ mai	$M_6$ juuni	$M_7$ juuli	$M_8$ aug.	$M_9$ sept.	$M_{10}$ okt.	$H_{<0,5}$	$H_{0,5-1}$	$H_{>1}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	e	t	C		
MK	r=300	1,000	0,973	0,947	0,949	0,937	0,929	0,924	-	1,000	2,290	1,000	1,702	1,353	0,165	-0,006	18,316	0,99	3.37
	r=600	1,000	0,980	0,943	0,950	0,915	0,903	0,944	-	1,000	3,852	1,000	1,509	1,438	0,241	0,000	5,969	0,90	3.38
	r=750	1,000	0,979	0,900	0,910	0,855	0,827	0,860	-	1,000	2,685	1,000	1,497	1,666	0,567	-0,032	1,492	0,80	3.39
	r=900	1,000	1,016	0,964	0,969	0,920	0,895	0,948	-	1,000	2,505	1,000	1,890	1,118	0,396	-0,015	3,232	0,62	3.40
	r=1200	1,000	0,976	0,983	0,986	0,942	0,924	1,012	-	1,000	2,173	1,000	2,697	1,047	0,034	-0,002	20,060	0,37	3.41
	r=1500	1,000	1,013	0,960	0,971	0,936	0,907	0,907	-	1,000	1,228	1,000	3,224	1,646	0,545	-0,018	2,732	0,91	3.42

- Märkus: - seos (3.2) ei ole antud tingimustes kasutatav
- AB+BS>200 - asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega kogupaksusega üle 200 mm
  - AB+BS130-200 - asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega kogupaksusega 130-200 mm
  - AB+BS<130 - asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega kogupaksusega alla 130 mm
  - AB - asfaltbetoonkatted
  - MK - mustkatted
  - $H_{<0,5}$  - tegur mulde kõrgusel kuni 0,5 m
  - $H_{0,5-1}$  - tegur mulde kõrgusel 0,5-1 m
  - $H_{>1}$  - tegur mulde kõrgusel üle 1 m
  - $N_1$  - tegur niiskuspaikkonnas 1
  - $N_2$  - tegur niiskuspaikkonnas 2
  - $N_3$  - tegur niiskuspaikkonnas 3



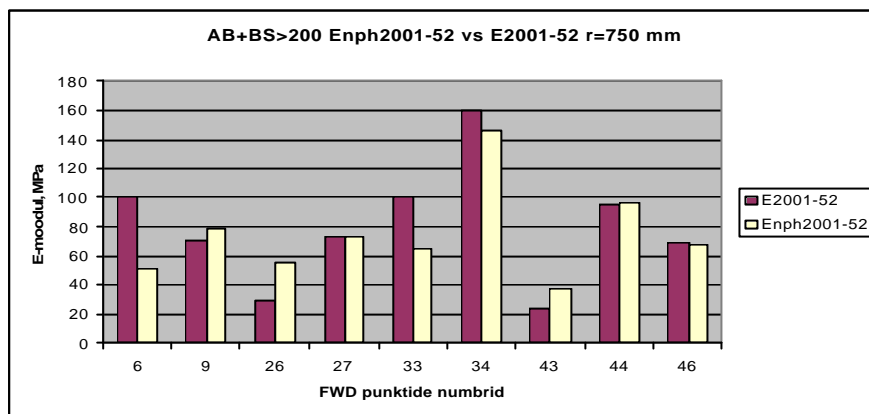
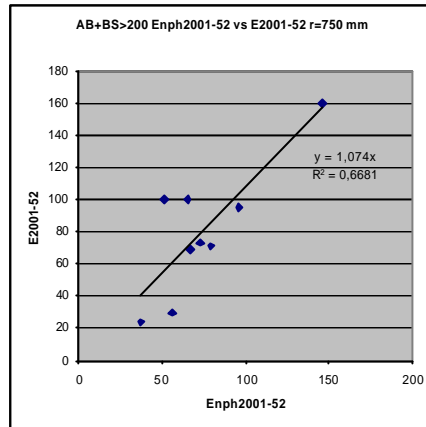
Joonis 3.13

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 300 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (AB+BS paksusega üle 200 mm)



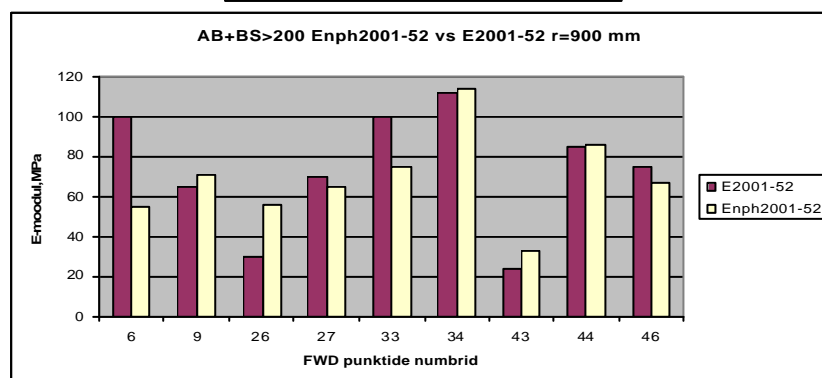
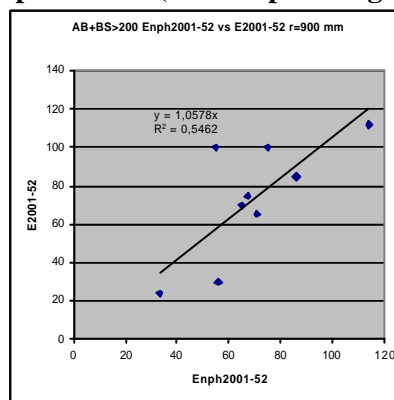
Joonis 3.14

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 600 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (AB+BS paksusega üle 200 mm)



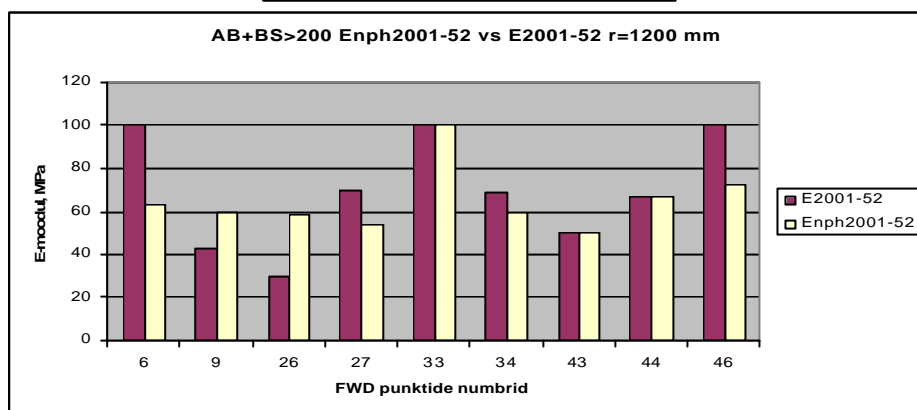
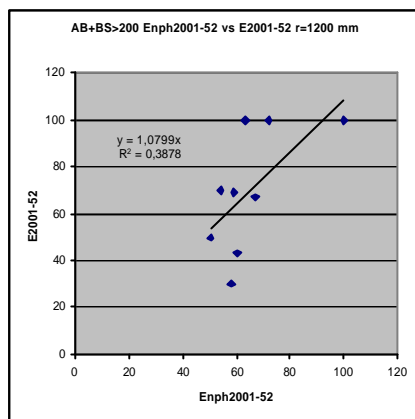
Joonis 3.15

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 750 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega üle 200 mm)



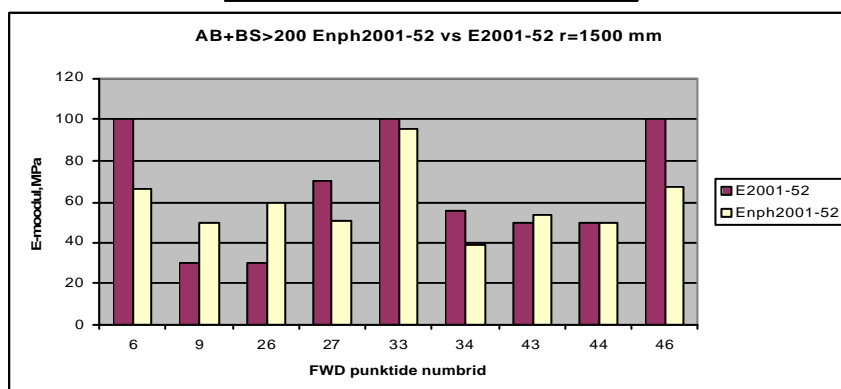
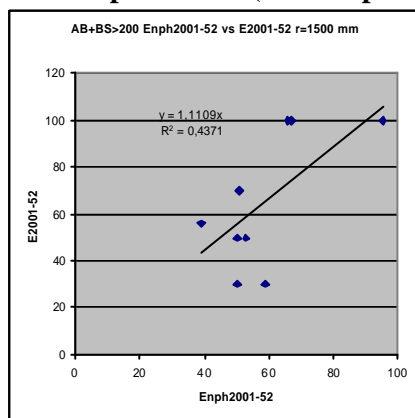
Joonis 3.16

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 900 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega üle 200 mm)



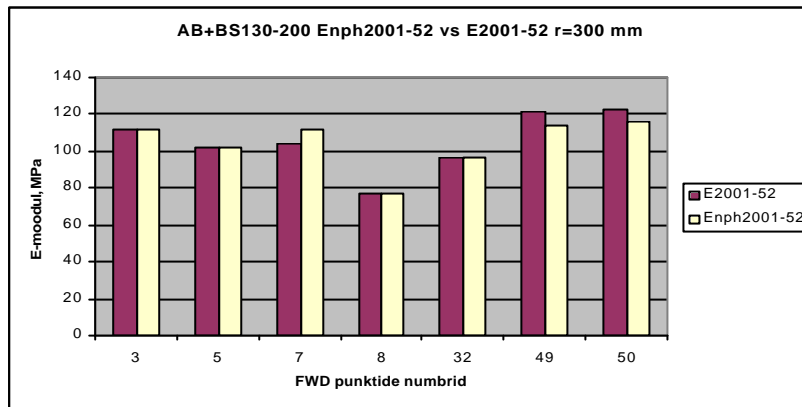
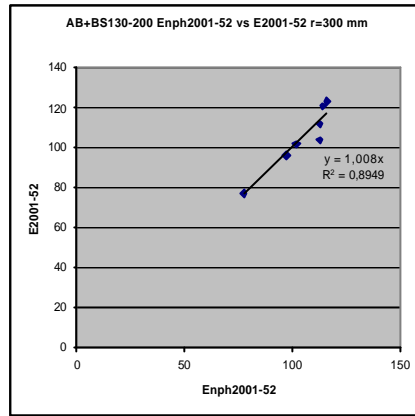
Joonis 3.17

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1200 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega üle 200 mm)



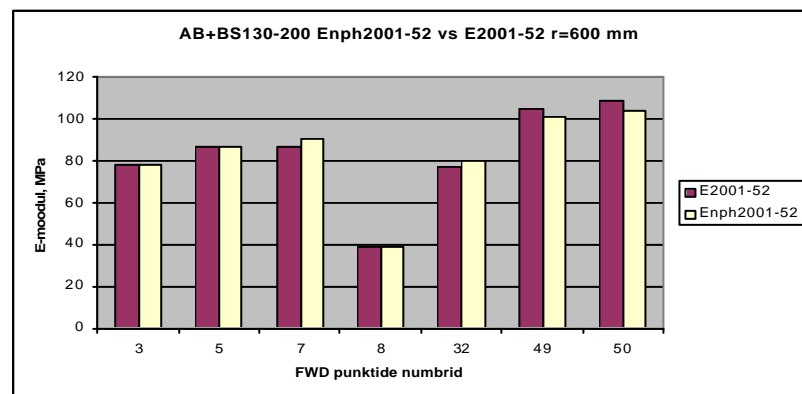
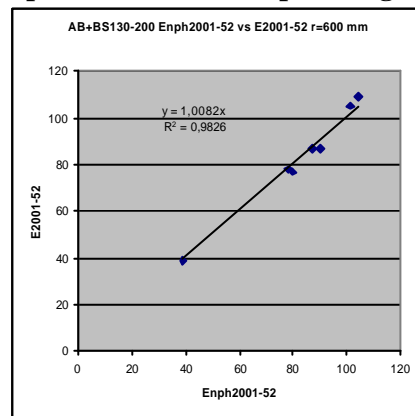
Joonis 3.18

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1500 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega üle 200 mm)



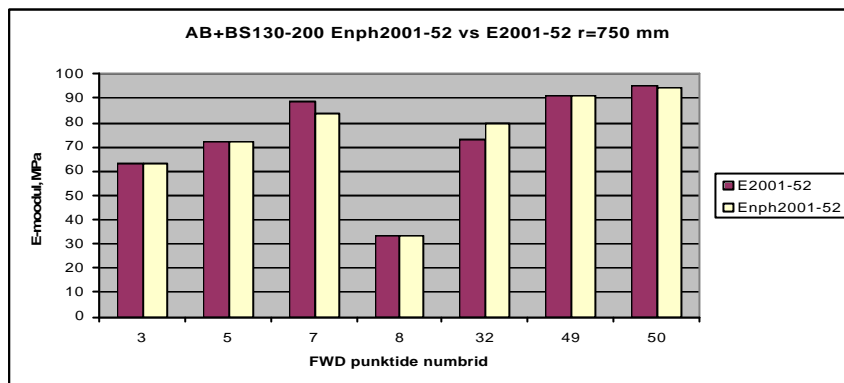
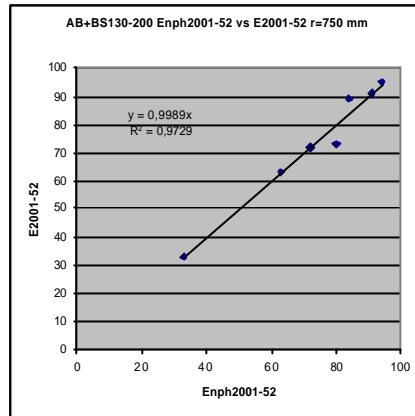
Joonis 3.19

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 300 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (AB+BS paksusega 130 kuni 200 mm)



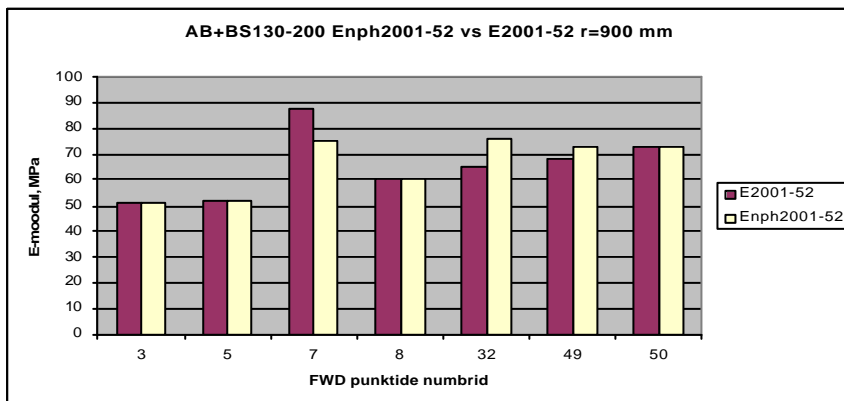
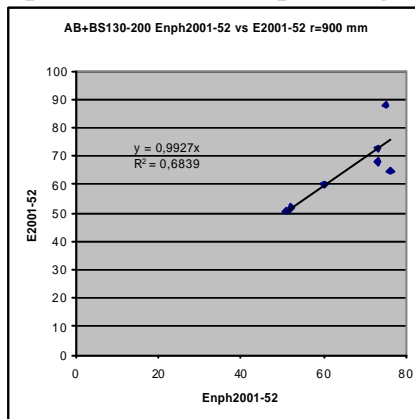
Joonis 3.20

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 600 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (AB+BS paksusega 130 kuni 200 mm)



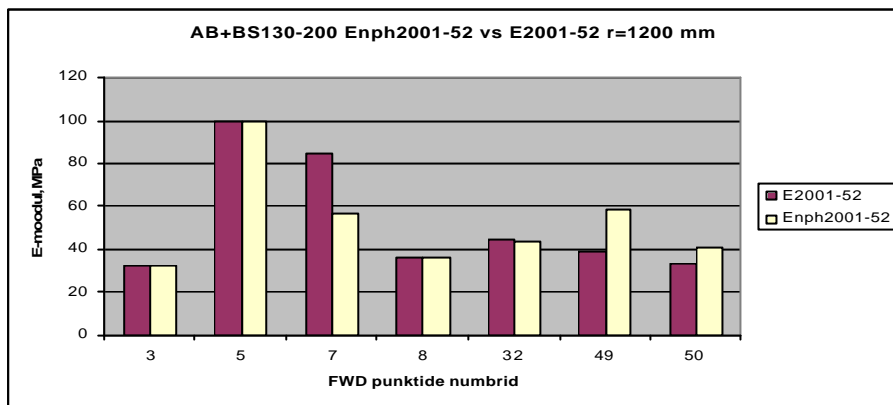
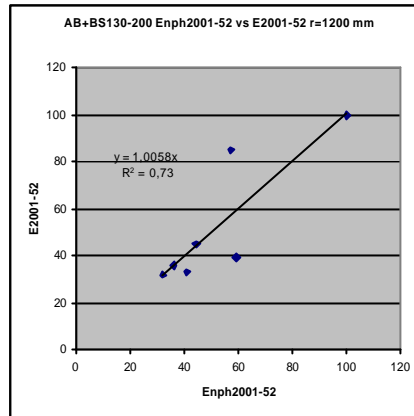
Joonis 3.21

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 750 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega 130 kuni 200 mm)

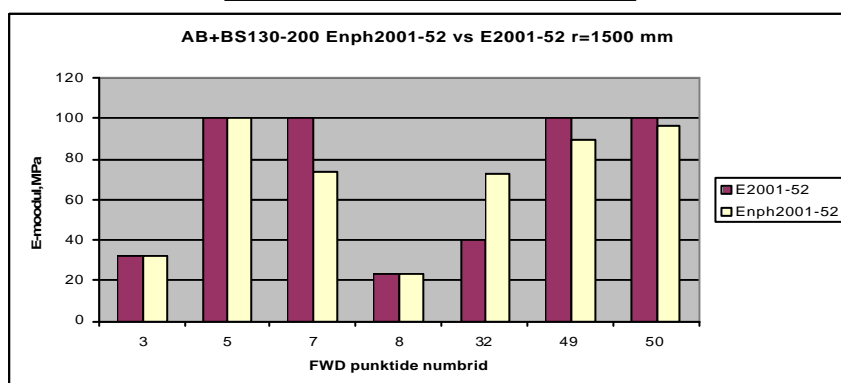
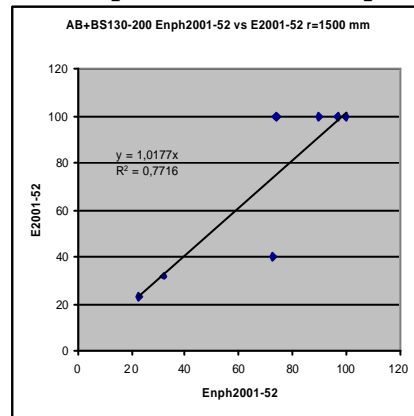


Joonis 3.22

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 900 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega 130 kuni 200 mm)

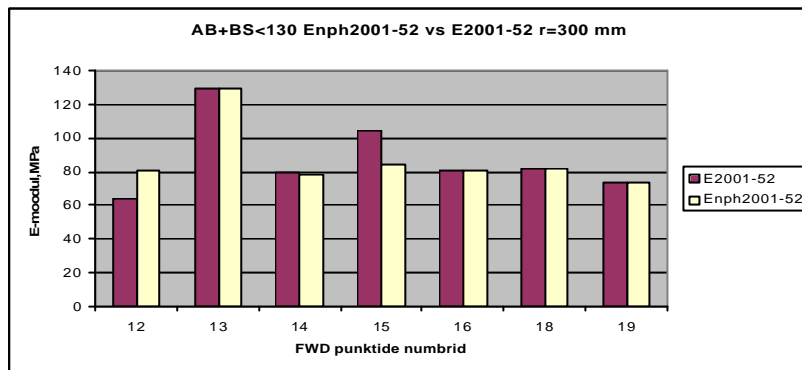
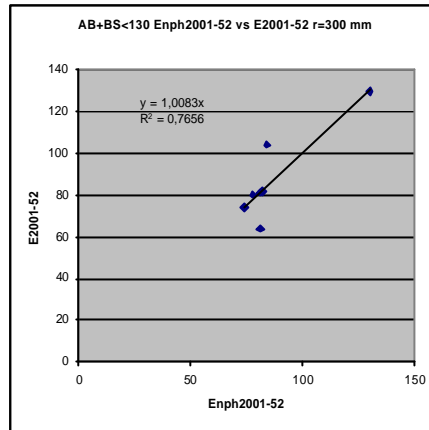


**Joonis 3.23** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 1200 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega 130 kuni 200 mm)



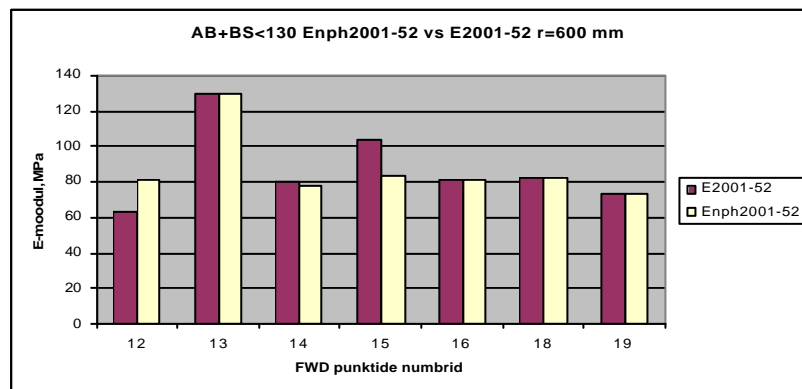
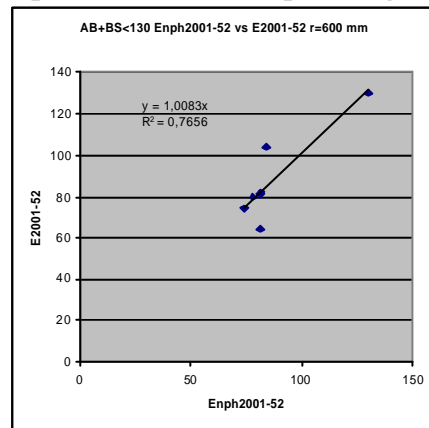
**Joonis 3.24** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 1500 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega 130 kuni 200 mm)





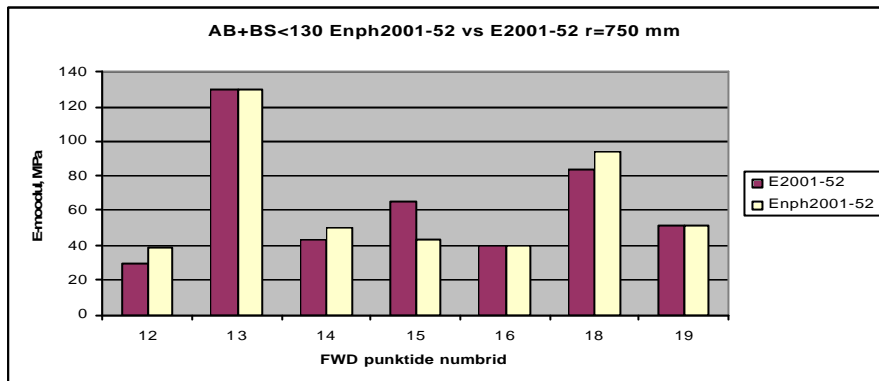
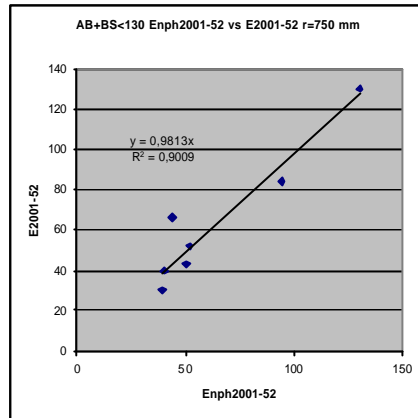
Joonis 3.25

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 300 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (AB+BS paksusega kuni 130 mm)



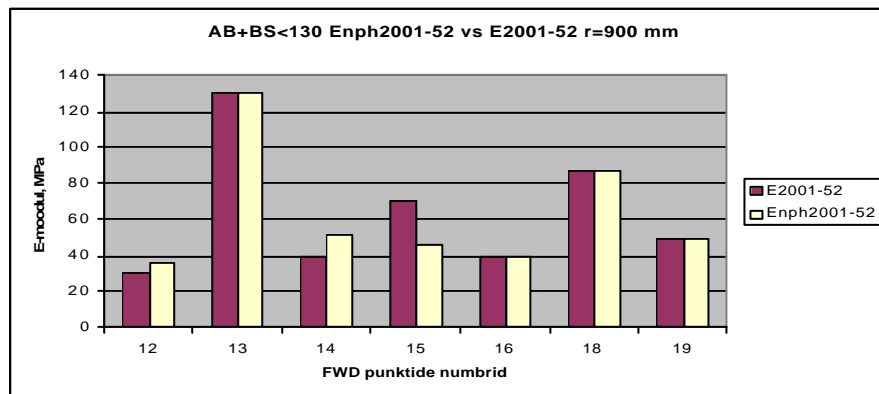
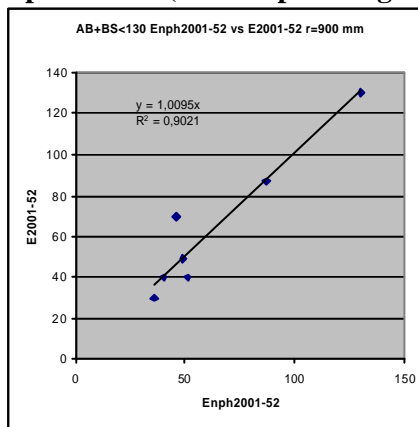
Joonis 3.26

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 600 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (AB+BS paksusega kuni 130 mm)



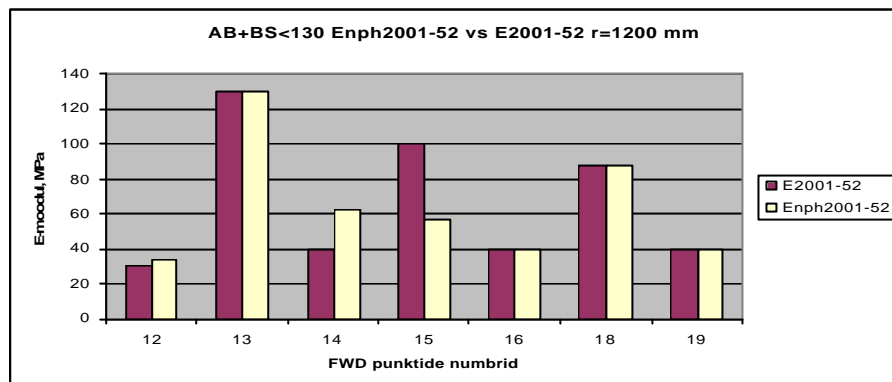
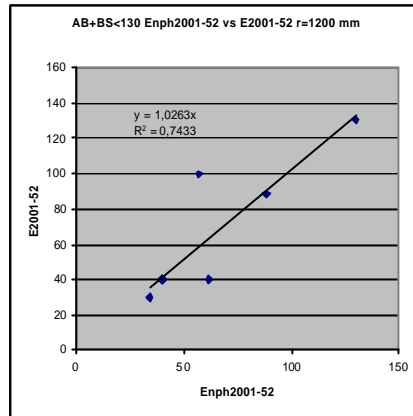
Joonis 3.27

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 750 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega kuni 130 mm)



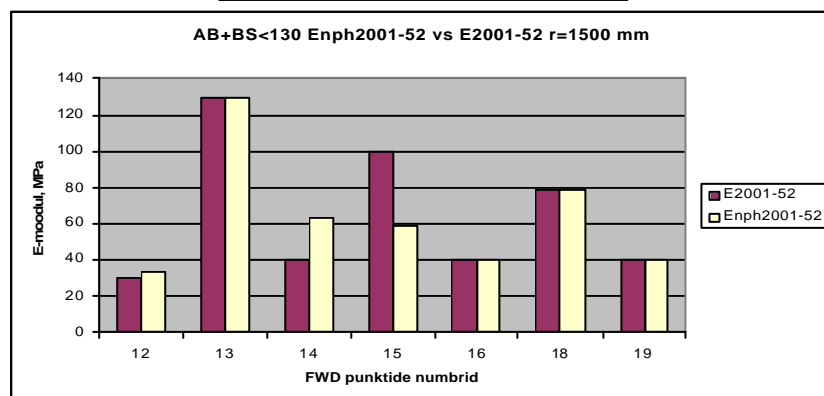
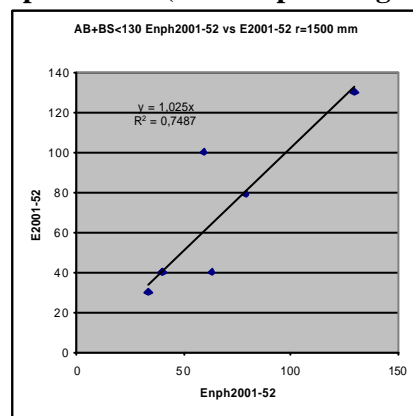
Joonis 3.28

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 900 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega kuni 130 mm)



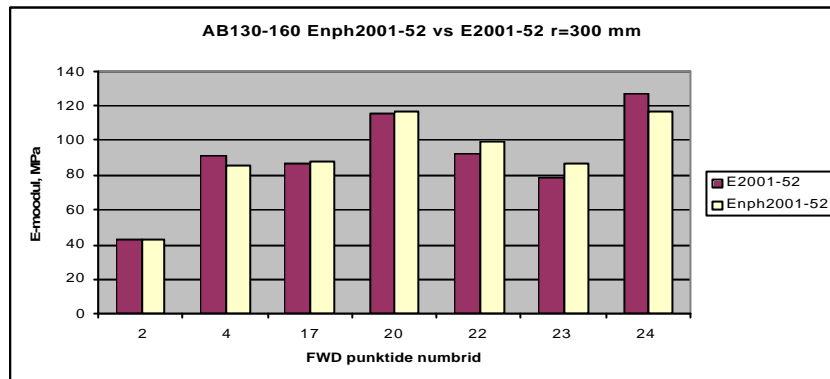
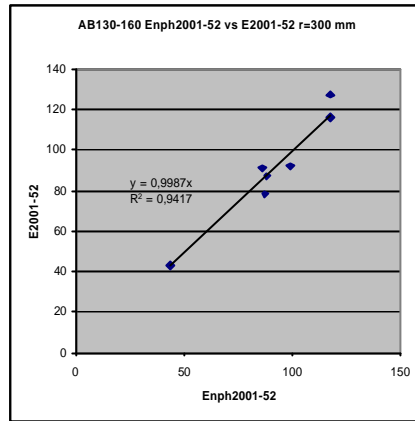
Joonis 3.29

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 120 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega kuni 130 mm)



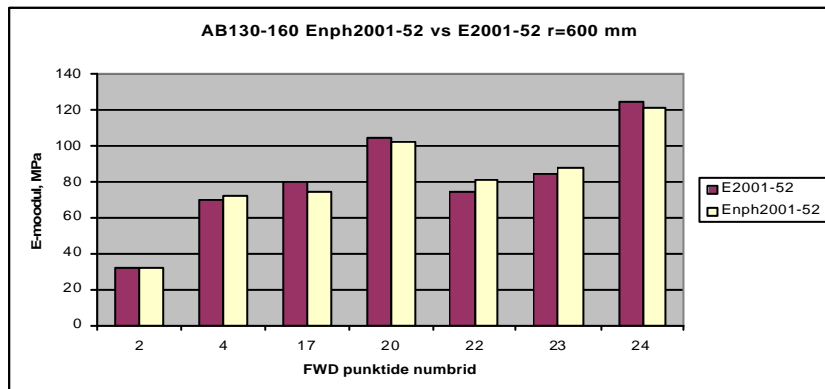
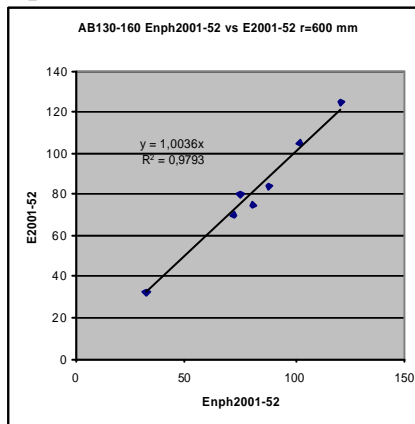
Joonis 3.30

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1500 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (AB+BS paksusega kuni 130 mm)



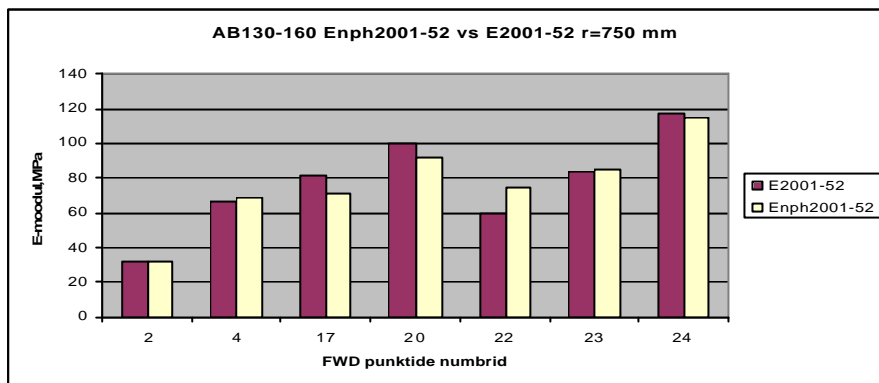
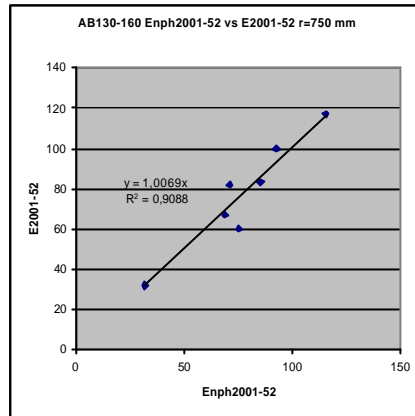
Joonis 3.31

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 300 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (asfaltbetoonkate)



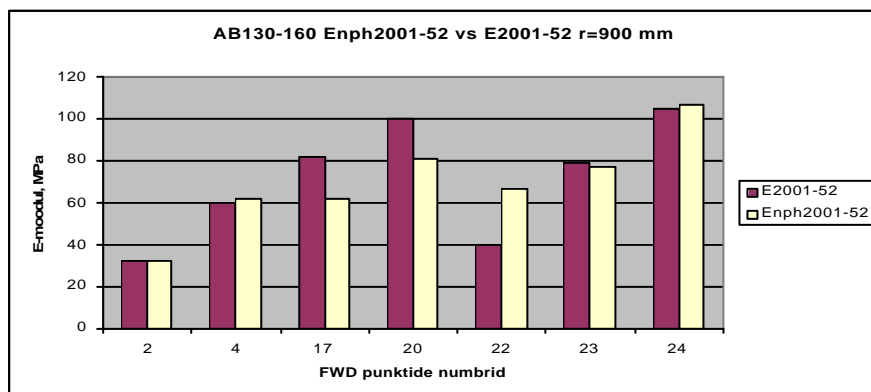
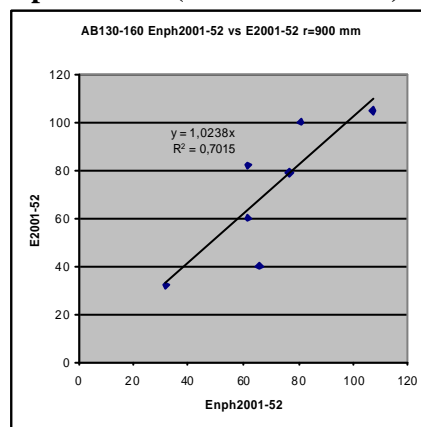
Joonis 3.32

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 600 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (asfaltbetoonkate)



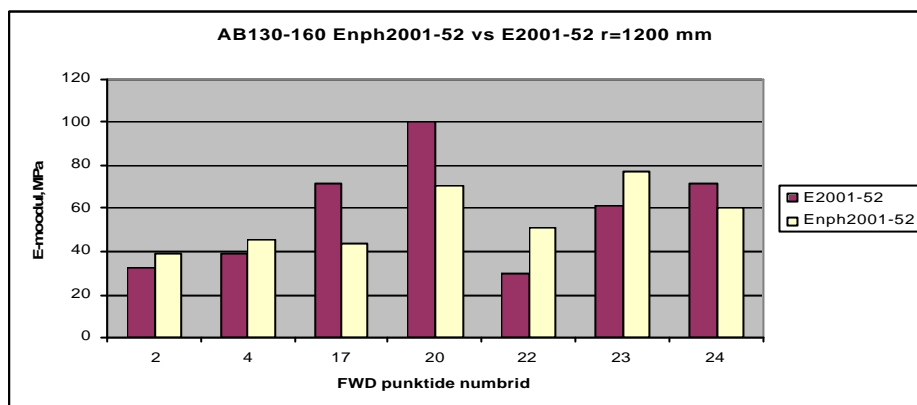
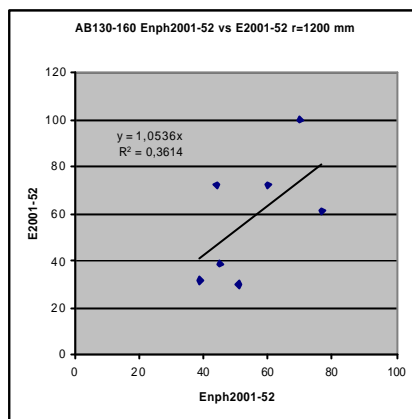
Joonis 3.33

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 750 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (asfaltbetoonkate)



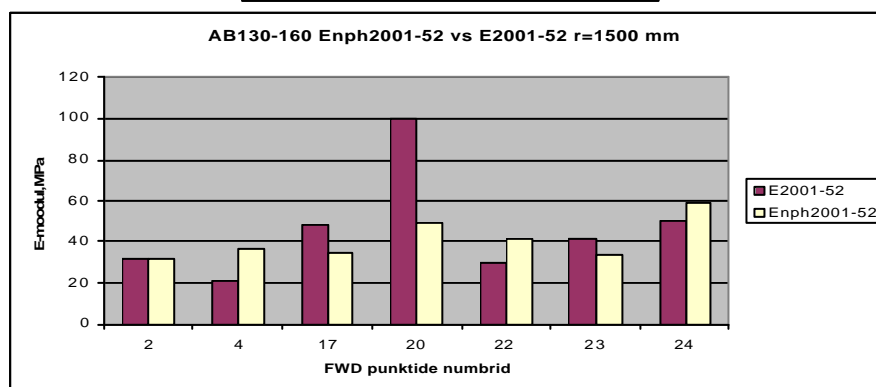
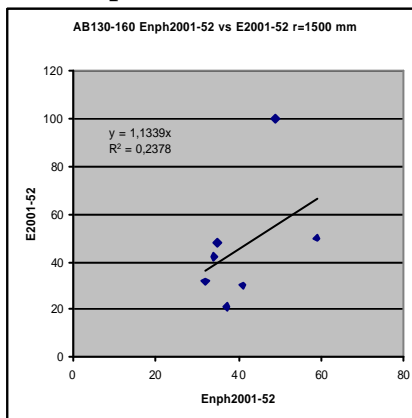
Joonis 3.34

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja juhendi 2001-52 alusel katte pinnast 900 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (asfaltbetoonkate)



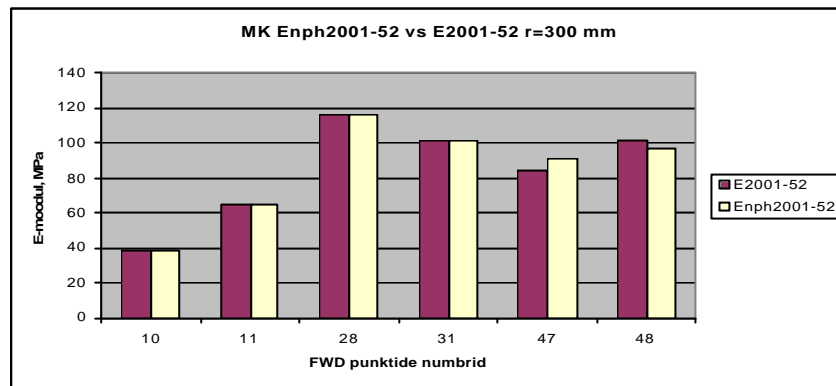
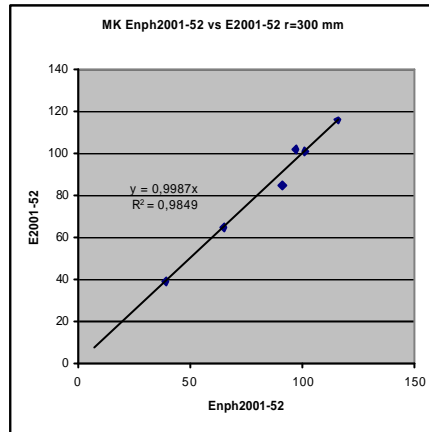
Joonis 3.35

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1200 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (asfaltbetoonkate)



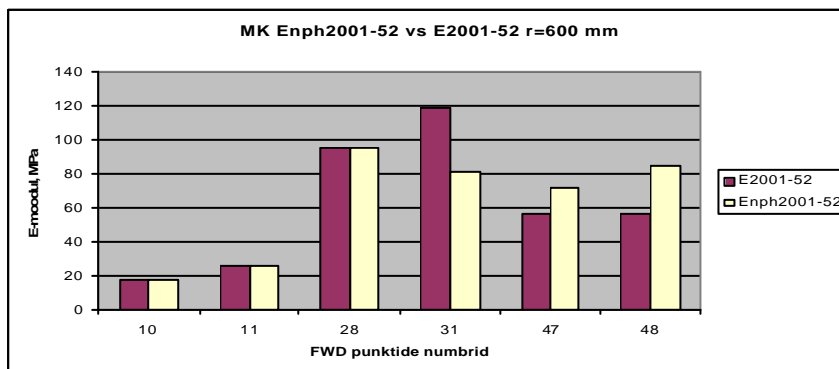
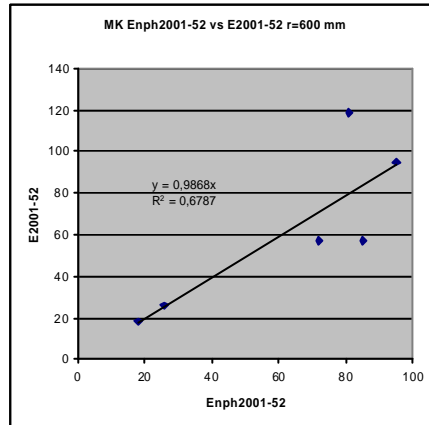
Joonis 3.36

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1500 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (asfaltbetoonkate)



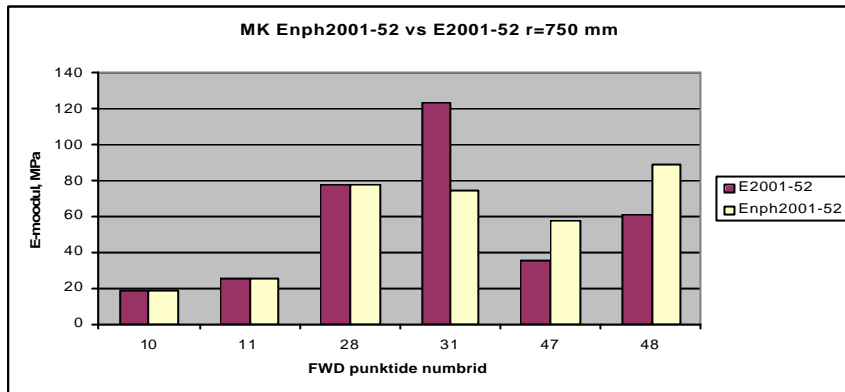
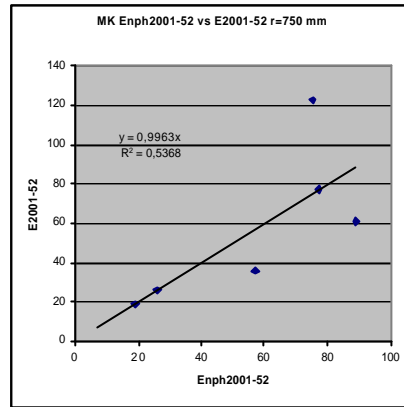
Joonis 3.37

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 300 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (mustkate)



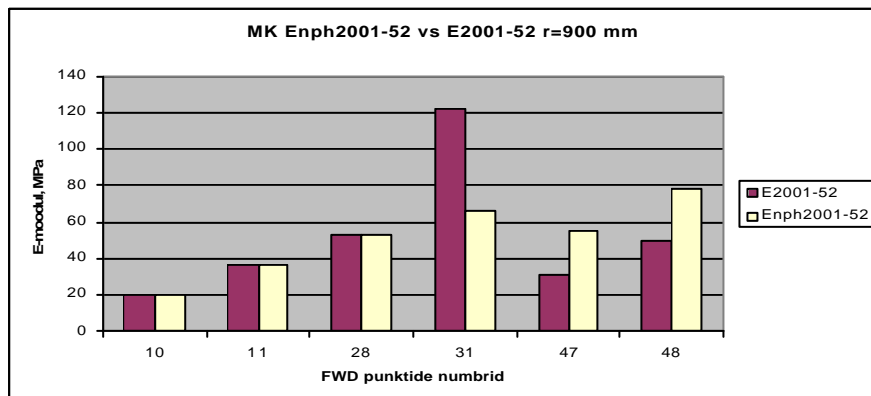
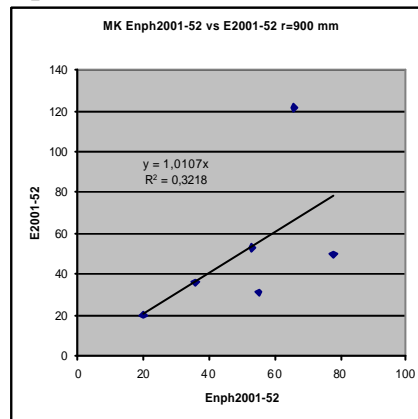
Joonis 3.38

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 600 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (mustkate)



Joonis 3.39

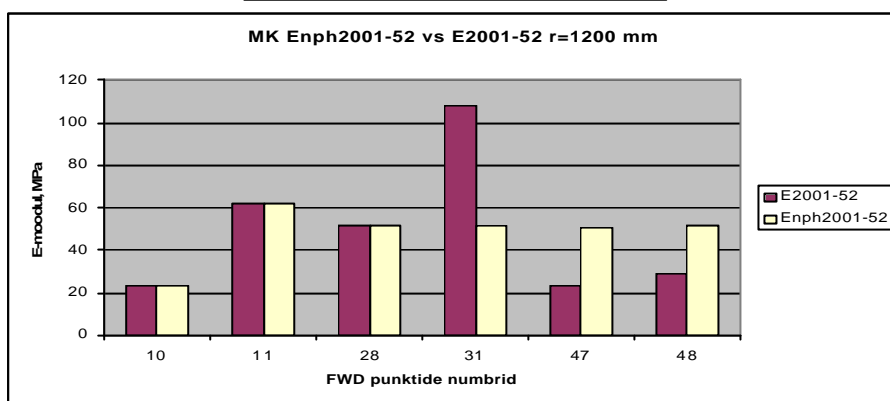
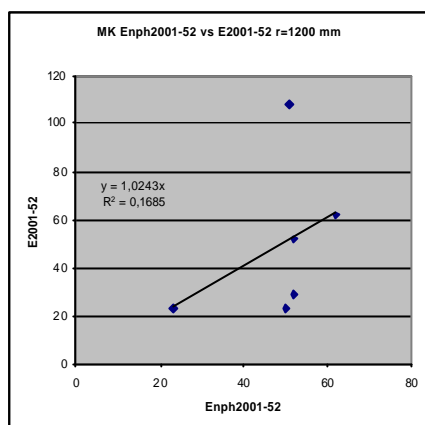
FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 750 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (mustkate)



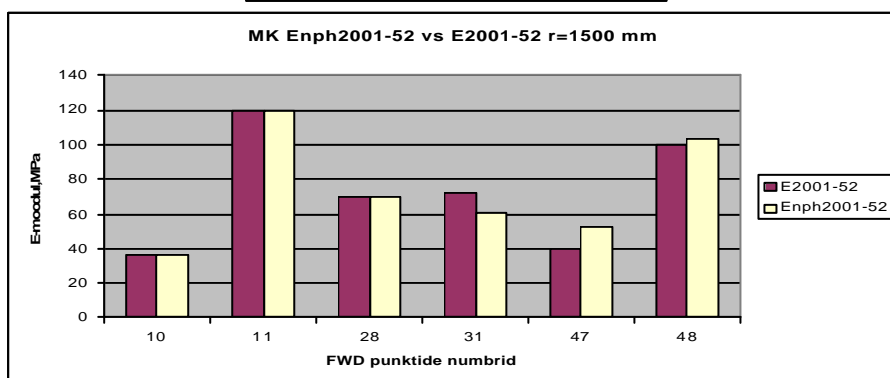
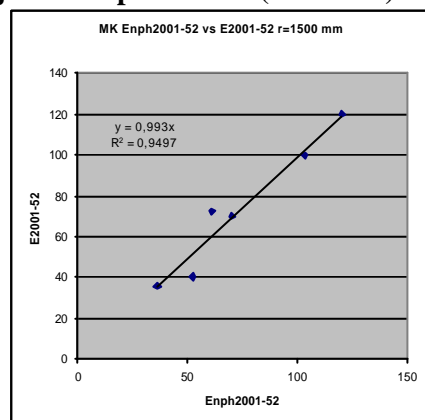
Joonis 3.40

FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jühendi 2001-52 alusel katte pinnast 900 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspakkonda (mustkate)





**Joonis 3.41** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1200 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (mustkate)



**Joonis 3.42** FWD mõõtmistulemuste alusel (seos (3.2), tabel 3.4) ja jhendi 2001-52 alusel katte pinnast 1500 mm sügavusel arvatud E-moodulite võrdlus arvestades mulde kõrgust ja niiskuspaikkonda (mustkate)

- Asfaltbetoonkate bituumenstabiliseeritud alusega:
  - kogupaksusega kuni 130 mm – 7 FWD kontrollmõõtepunkti;
  - kogupaksusega 130-200 mm – 7 FWD kontrollmõõtepunkti;
  - kogupaksusega üle 200 mm – 9 FWD kontrollmõõtepunkti;
- Asfaltbetoonkate – 7 FWD kontrollmõõtepunkti;
- Mustkate – 6 FWD kontrollmõõtepunkti.

On tekkinud olukord, kus isegi igas analüüsigrupis ei ole esindatud kõik iseloomulikud FWD kontrollmõõtepunktid vajalike tegurite leidmiseks. Näiteks puuduvad asfaltbetoon- ja mustakattega FWD kontrollmõõtepunktide hulgas sellised, mille mulde kõrgus oleks alla 0,5 m ja asfaltbetoonkatete hulgas ka punktid, mis asuksid kolmandas niiskuspaikkonnas, mistõttu puuduvad nendel juhtudel ka vastavad seoses (3.2) vajalikud tegurid  $H_{<0,5}$  ja  $N_3$  (tabel 3.4), mis teeb võimatuks E-mooduli arvutamise nendel juhtudel.

Lisaks eeltoodule ei ole igas analüüsigrupis esindatud kõikvõimalikud algandmete kombinatsioonid. Näiteks ei võimalda analüüsigrupis esindatud FWD kontrollmõõtepunktid moodustada kombinatsioone erinevate muldekõrguste ja niiskuspaikkonna tüüpidega, mida on kolme mulde kõrguse ja kolme niiskuspaikkonna tüübi korral kokku 9. Seega peaks meil igas analüüsigrupis olema vähemalt 9 erinevate algandmetega (mulde kõrguse ja niiskuspaikkonna tüübi kombinatsiooniga) FWD kontrollmõõtepunkti. Statistilise tõenäosuse saamiseks peaks sarnaste omadustega mõõtepunkte olema igas analüüsigrupis vähemalt 5. Seega peaks meil analüüsigrupis olema andmed vähemalt 45 FWD kontrollmõõtepunkti kohta selleks, leitavate tegurite ja konstantide väärtused kasutamiseks seoses (3.2) omaksid piisavat tõenäosust. Käesoleval juhul, kui tegurid ja konstandid teekonstruktsiooni E-mooduli arvutamiseks (tabel 3.4) on leitud ainult 6-9 FWD kontrollmõõtepunkti andmete alusel, kusjuures kõigi nende punktide mulde kõrgused ja niiskuspaikkonna tüübid ei pruugi isegi omavahel erineda, ei saa me olla kuidagi kindlad leitud tegurite ja konstantide tõenäosuses. Pigem väljendavad nad suurele determinatsioonikordaja väärtusele vaatamata vaid ainult nende analüüsis kasutatud konkreetsete punktide FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud ja juhendi 2001-52 alusel arvatud E-moodulite vahelist seost ja leitud tegurid ja konstandid ei ole kasutatavad remondiprojektide koostamisel teekonstruktsiooni E-mooduli arvutamiseks teatud sügavusel. Selleks kasutatavate tegurite leidmine eeldaks nimetamisväärselt (kordades) suuremat FWD kontrollmõõtepunktide/-lõikude olemasolu.

### 3.4. Kokkuvõte

Kokkuvõttes, arvestades eeltoodut, ei ole FWD kontrollmõõtepunktide alusel tuletatud tegurid ( $M_i$ ,  $H_j$ ,  $N_k$ ) ning konstandid ( $e$ ,  $t$ ,  $C$ ) kasutatavad seoses (3.2) teekonstruktsiooni E-mooduli arvutamiseks teatud sügavusel FWD mõõtmistulemuste alusel, mis oleks võrreldav juhendi 2001-52 alusel arvatud E-mooduli väärtusega.

#### **4. DEFEKTSE TEEKONSTRUKTSIOONI ALLA JÄÄVA KONSTRUKTSIOONIOSA ÜLDISE E-MOODULI MÄÄRAMINE JUHENDI 2001-52 ALUSEL JA KATENDI PROJEKTEERIMINE**

Kuna FWD mõõtmistulemused ei ole kasutatavad SCI, BDI ja BCI (ptk.2) alusel määratud defektse teekonstruktsiooni alla jääva osa E-mooduli määramiseks (ptk.3), siis on ainukeseks võimaluseks *määrata remondi käigus eemaldatava defektse teekonstruktsiooni all oleva ning remondi käigus alles jääva vana teekonstruktsiooni E-moodul kasutades Elastsete teekatendite projekteerimise juhendit 2001-52*. Selleks kasutatakse algandmetena geoloogiliste uurimiste käigus koostatud remondilõigu geoloogilisi profiile.

*Arvutanud E-mooduli remondi käigus alles jääva vana teekonstruktsiooni pinnal, tuleb vajadusel homogeensed lõigu saadud tulemuste alusel täiendavalt ümber formeerida, et homogeense lõigu piires oleks kõik tingimused võimalikult sarnased ja seetõttu oleks võimalik projekteerida sama katendikonstruktsioon kogu homogeense lõigu ulatuses.*

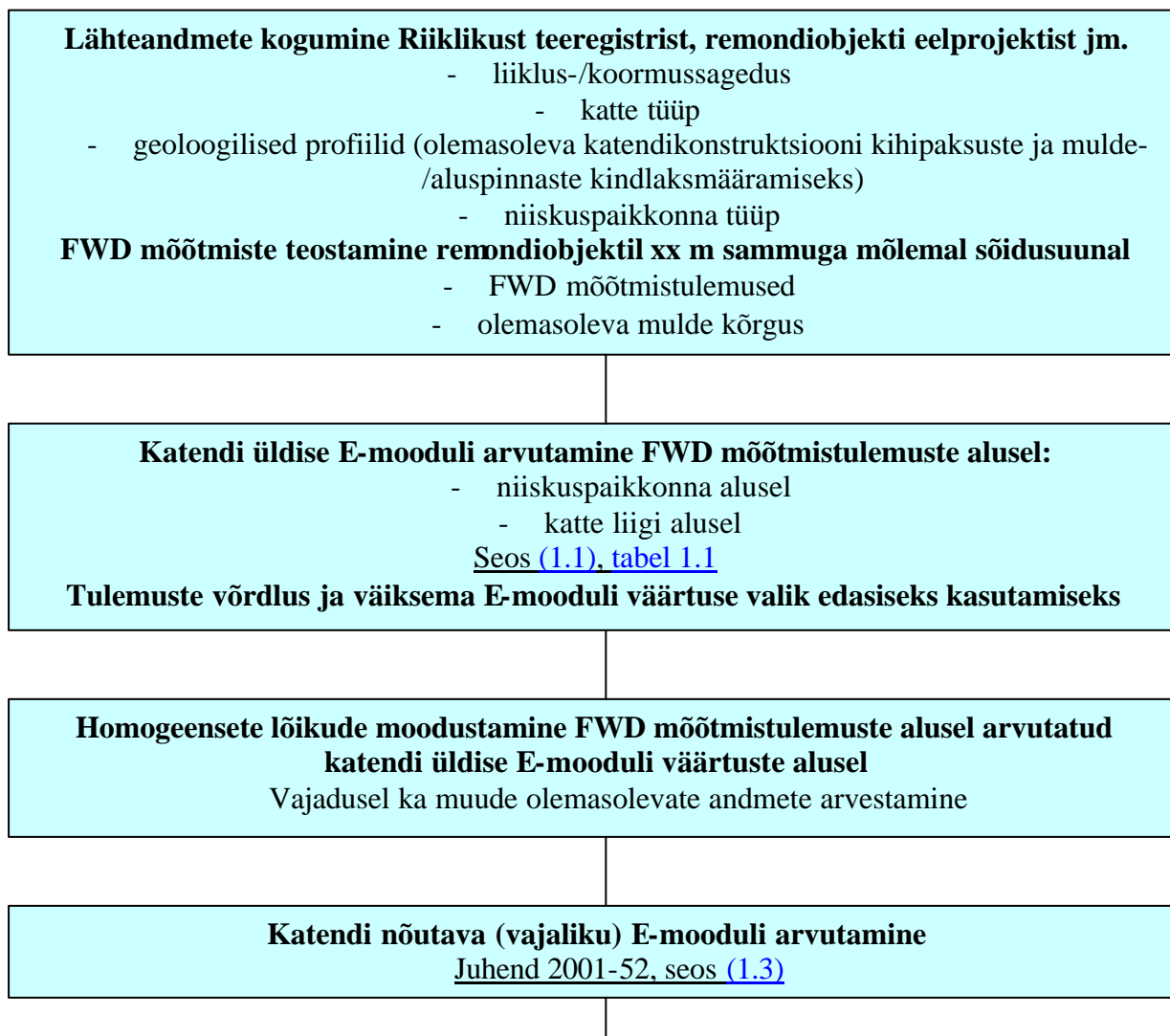
*Katendi arvutamiseks kasutatakse Elastsete teekatendite projekteerimise juhendit 2001-52, arvestades kõiki selle ettekirjutisi.*

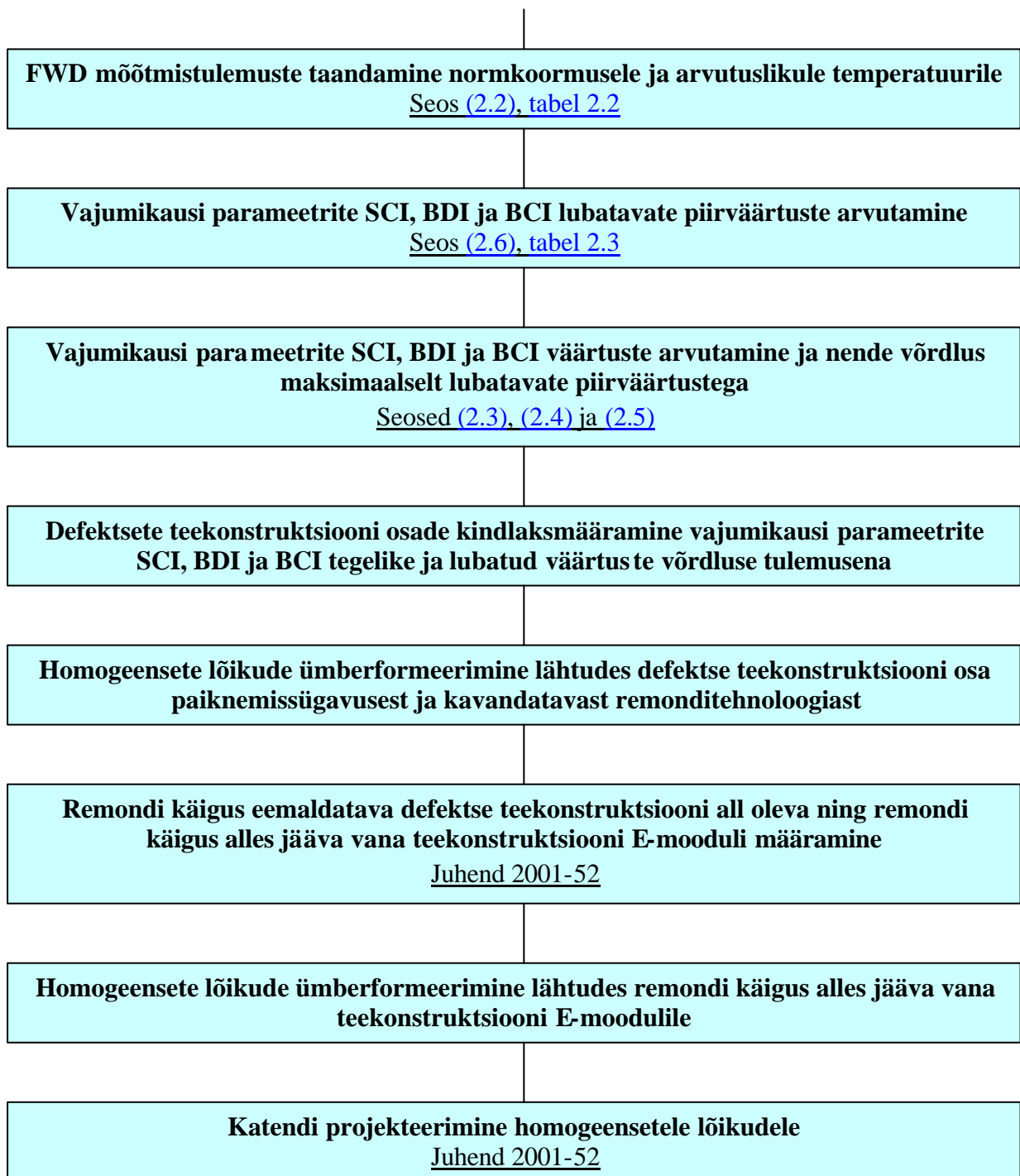
*Töö tulemuseks on FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud katendi üldise E-mooduli, SCI, BDI ja BCI ning allesjääva vana teekonstruktsiooni osa E-mooduli alusel **homogeenseteks lõikudeks jagatud remondiobjekt koos nendele homogeensetele lõikudele arvutatud katendikonstruktsioonidega.***

## KOKKUVÕTE

Käesoleva teadustöö vahearuande kokkuvõttena on skemaatiliselt esitatud FWD mõõtmistulemuste kasutamine remondiprojektide koostamisel, mis on aluseks vastava arvutitarkvara koostamisele.

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 kohta arvutitarkvara koostamine ei kuulu käesoleva teadustöö raamesse. Katendiarvutuseks juhendi 2001-52 kohaselt kasutatakse Elmur Karu, Ants Vaimeli, Maano Koppeli, Taavi Tõntsi või teiste koostatud vastavat arvutitarkvara.





Detailne juhend FWD mõõtmistulemuste kasutamiseks teekatendi remondiprojektide koostamiseks valmib koos eeltoodud skeemi järgiva arvutitarkvara valmimisega ja esitatakse käesoleva teadustöö lõpparuandes.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Aavik, A. 2003. *Methodical Basis for the Evaluation of Pavement Structural Strength in Estonian Pavement Management System (EPMS)*. Department of Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tallinn Technical University.
2. ?????????? ?? ?????????????? ?????????? ?????? ?????????? ??????. BCH 46-83. ? ?????????????? ??????. - Moskva, 1985 –157 lk.
3. Paabo, P. FWD mõõtmistulemuste analüüs teekatendi tugevuse hindamiseks. Bakalaureusetöö. – Tallinn: TTÜ Teedeinstituut, 2004. – 53 lk.
4. 2001-52. *Elastsete teekatendite projekteerimise juhend (2001-52)*. Eesti Maanteeamet, Tallinn, 2001
5. Metsvahi, T., Koppel, M., Pihlak, I. jt. 2005. *Maanteede projekteerimismõõtmisnormide ja sellega seotud määruste korrektuur, köide II*. ptk. 4 –Katendid. TTÜ, Teedeinstituut
6. Teekonstruktsiooni kandevõimest mnt nr. 18 Niitvälja-Kulna. AS Teede Tehnokeskus, PMS grupp, Tallinn 2006. 17 lk.
7. Paabo, P. 2006. *Teekatendite tugevuse hindamine dünaamilise koormusseadmega*. Magistritöö. TTÜ teedeinstituut, Tallinn
8. FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel. Lõpparuanne. 2007-13/L, Maanteeamet. TTÜ teedeinstituut, teadustöö 7042. Tallinn 2007, 163 lk.
9. COST 336.1999. *Falling Weight Deflectometer*. Final Report of the Action. Final Draft. European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research. Danish Road Directorate
10. Ullidtz, P. 1998. *Modelling Flexible Pavement Response and Performance*. 1. edition 1998. Technical University of Denmark. Denmark, Gylling: Narayana Press
11. FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel. Informatsioon 1. 2006-11/11, Maanteeamet. TTÜ teedeinstituut, teadustöö 614L. Tallinn 2006, 67 lk.