

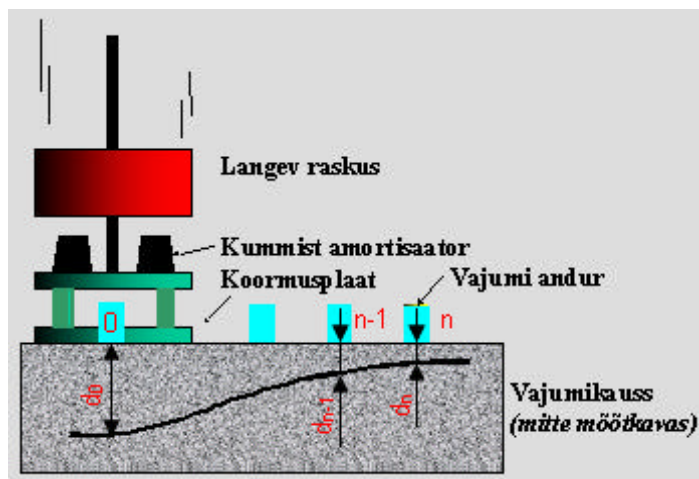
FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel

LÕPPARUANNE

Remondiobjekti olemasoleva katendi kandevõime hindamine ja uue katendi dimensioneerimine FWD mõõtmisandmete baasil



2006-11/L



MAANTEEAMET

Tallinn 2007

Teadustöö klass 2.8

TEADUSTÖÖ 614L

**FWD MÕÕTMISTULEMUSTE KASUTAMINE TEEKATENDI
REMONDIPROJEKTIDE KOOSTAMISEL**

LÕPPARUANNE

**Remondiobjekti olemasoleva katendi kandevõime hindamine ja uue katendi
dimensioneerimine FWD mõõtmisandmete baasil**

Tellija: MAANTEEAMET

Lepingu vastutav täitja: prof. Andrus Aavik

27. november 2007

Tallinn 2007

TEADUSTÖÖ LÕPPARUANNE

FWD MÕÕTMISTULEMUSTE KASUTAMINE TEEKATENDI REMONDIPROJEKTIDE KOOSTAMISEL

Remondiobjekti olemasoleva katendi kandevõime hindamine ja uue katendi dimensioneerimine FWD mõõtmisandmete baasil

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

Teadustöö lõpparuande koostasid:

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

SISUKORD

Teadustöö lähteülesanne	5
-------------------------------	---

REMONDIOBJEKTI OLEMASOLEVA KATENDI KANDEVÕIME HINDAMINE JA UUE KATENDI DIMENSIONEERIMINE FWD MÕÕTMISANDMETE BAASIL

Sissejuhatus	8
1. Lähteandmed	11
2. Katendi üldise elastsusmooduli arvutamine FWD mõõtmistulemuste alusel.....	14
3. Koormussagedus ja katendi nõutav (vajalik) elastsusmoodul	16
4. Homogeensete lõikude moodustamine	18
5. FWD mõõtmistulemuste taandamine normkoormusele ja arvutuslikule temperatuurile	19
6. Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI arvutamine	20
7. Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI lubatavad piirväärtused.....	21
8. Vajumikausi parameetrite BDI, SCI ja BCI väärtuste võrdlus maksimaalselt lubatavate piirväärtustega.....	23
9. Homogeensete lõikude ümberformeerimine lähtudes defektse teekonstruktsiooni osa paiknemissügavusest.....	23
10. Defektse teekonstruktsiooni alla jääva konstruktsiooniosa üldise E-mooduli määramine elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 alusel.....	24
11. Homogeensete lõikude ümberformeerimine lähtudes remondi käigus alles jääva vana teekonstruktsiooni E-moodulist	25
12. Katendi projekteerimine Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 alusel.....	25
Kokkuvõte	26
Kasutatud kirjandus	27

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) 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 maanteed. 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 keskmes 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 hoiumüsteemis (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, niiskuspaikkonna 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;
- niiskuspaikkonna 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 tohtu informatsioonikogus on aga praegusel hetkel Eestis täielikult kasutamata, sest ei ole teada, kuidas nende kuue täiendava anduri mõõtmistulemused iseloomustavad katendi seisukorda.

FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud 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 võrdsel 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. Uurida 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.

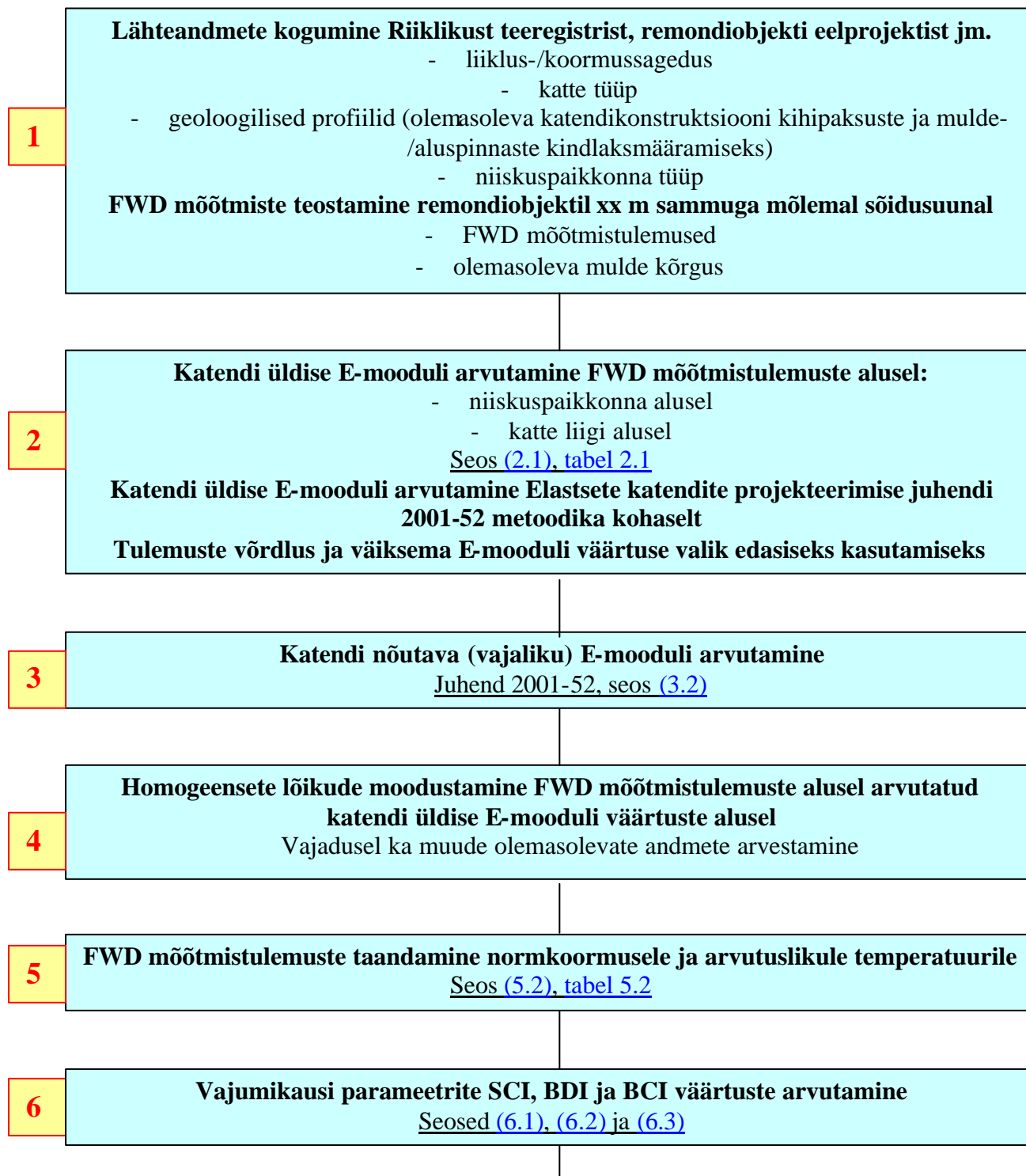
3.5. Arvutitarkvara loomine remondiobjektide olemasolevate katendite kandevõime hindamiseks ja uute katendite dimensioneerimiseks FWD mõõtmisandmete baasil.

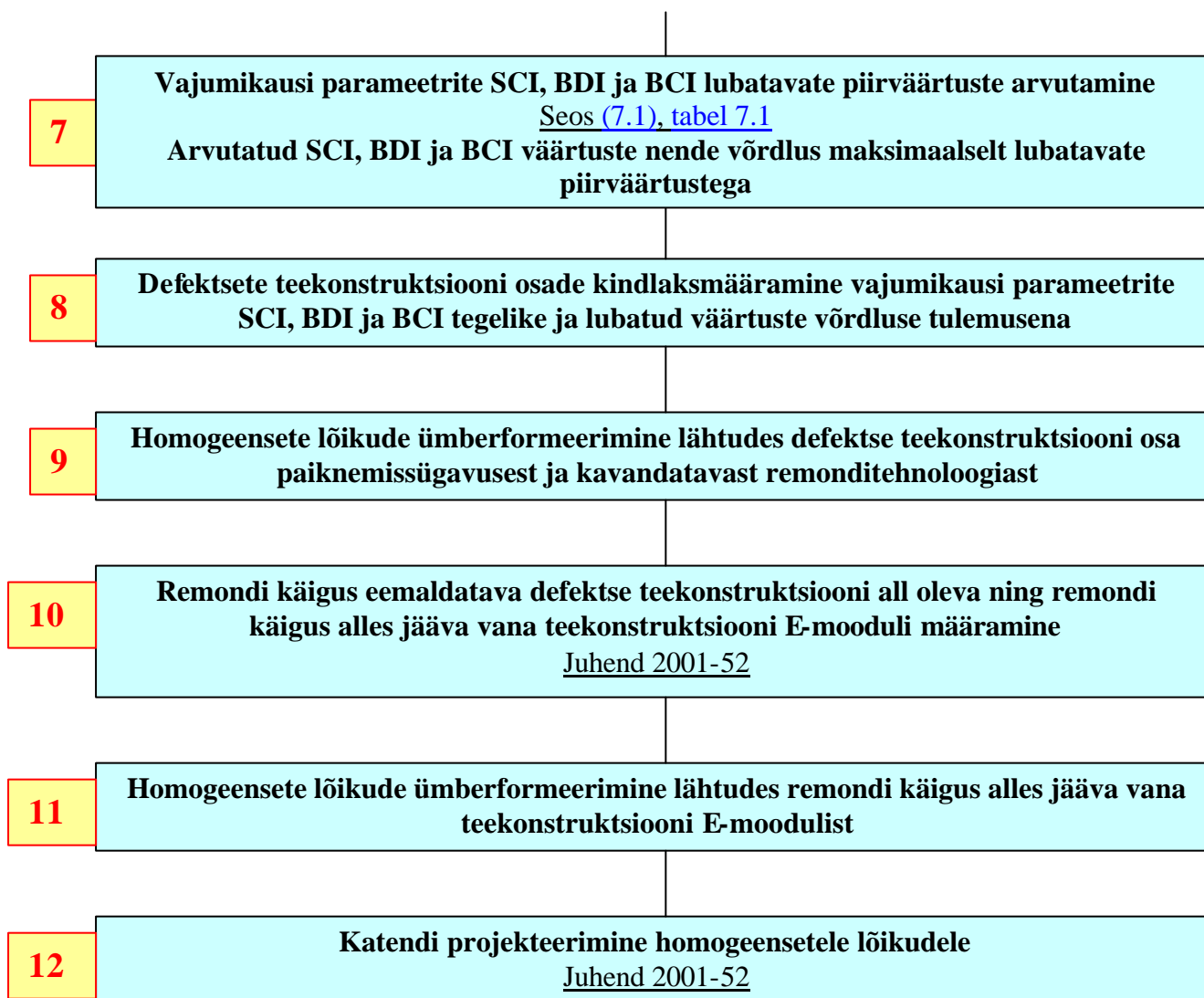
4. TÖÖVÕTJA poolt esitatavad aruanded

Aruanne	Sisu	Tähtaeg
I etapp - 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
II etapp - 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
III etapp – Vahearuanne	4. FWD mõõtmisandmete baasil katendi kandevõime hindamise ja dimensioneerimise meetodika koostamine katendi remondiobjektidele.	30.06.2007
IV etapp – Lõpparuanne	5. Arvutitarkvara loomine remondiobjektide olemasolevate katendite kandevõime hindamiseks ja uute katendite dimensioneerimiseks FWD mõõtmisandmete baasil.	01.12.2007

SISSEJUHA TUS

Alltooduna on skemaatilisel esitatud FWD mõõtmistulemuste kasutamine remondiprojektide koostamisel, mis on olnud 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.

Arvutitarkvara on koostatud MS Excel baasil ja tarkvara fail koosneb järgmistest lehtedest:

- *Avaleht*
- *Seaded & üldandmed*
- *Mõõtmisandmed*
- *Katendid*
- *Tabelid*
- *Valemid*

Lehel *Seaded & üldandmed* (joonis 1) määratakse teatud lähteparameetrid, kust alustada tulemuste väljatrukki, koormussageduse ja katte liigi teadaolemine, homogeense lõigu määrangukriteeriumiks oleva katendi üldise E-mooduli vahemik ning katendiarvutusega seotud üldandmed.

Seaded

Tulemused alates veerust:	AL
Koormussagedus on teada	<input type="checkbox"/>
Katte liik on teada	<input type="checkbox"/>
Muutus homogeenise lõigu ulatuses, Mpa	25
Maksimaalne ridade hulk arvutuses	50

Katendi arvutusega seotud üldandmed

Tugevustegur K_{tt}	1
Raskeliikluse kasvutegur	1,05
Autobusside osakaal > 5%	<input checked="" type="checkbox"/>
Proгноos aastaks:	2025
Katendi minimaalne vajalik moodul, E_{min} , MPa	220

!NB kasutaja peab koormussageduse alati andma taandatuna 100kN

Joonis 1. Leht Seaded & üldandmed

Mõõtmisandmete lehel esitatakse kõik lähteandmed ja arvutus- ja töötlustulemused. *Mõõtmisandmete* lehel esitatud kirjeldatakse täpsemalt käesoleva aruande järgmistes punktides.

Katendite lehel (joonis 2) on võimalik teostada erinevate katendikonstruktsioonide üldise E-mooduli arvutused, mis põhinevad Elastsete teekatendite projekteerimise juhendil 2001-52. Lähteandmetena kasutatakse remondiobjekti geoloogilise uuringu tulemusena saadud geoloogilisi profiile.

JRK	kiht 1		kiht 2		kiht 3		kiht 4		kiht 5		D	Epinnas	Eüld
	E1	h1	E2	h2	E3	h3	E4	h4	E5	h5			
1	2000	4	1200	7	800	10	400	20	120	20	37	40	237
2	2000	4	1200	7	800	10	400	20	120	20	37	40	237
9	2000	4	1200	7	800	10	400	20	120	20	37	40	237
15	2000	4	1200	7	800	10	400	20	120	20	37	40	237
16	2000	3	1200	9	700	10	400	20	120	20	37	40	244
22													
23													

Joonis 2. Leht Katendid

Tabelite lehel on esitatud kõik tabelid, milles sisalduvaid andmeid tarkvara kasutab.

Valemite lehel on toodud kõik tarkvara poolt kasutatavad seosed.

Edasistes lõpparuande punktides on detailselt kirjeldatud ülaltoodud tarkvara põhiskeemi üksikuid plokkide.

1. LÄHTEANDMED

Lähteandmete kogumine Riiklikust teeregistrist, remondiobjekti eelprojektist jm.

- liiklus-/koormussagedus
- katte tüüp
- geoloogilised profiilid (olemasoleva katendikonstruktsiooni kihipaksuste ja mulde-/aluspinnaste kindlaksmääramiseks)
- niiskuspaikkonna tüüp

FWD mõõtmiste teostamine remondiobjektil xx m sammuga mõlemal sõidusuunal

- FWD mõõtmistulemused
- olemasoleva mulde kõrgus

Lähteandmed, mis paigutatakse *Mõõtmisandmete* lehel Excel'i tabeli vastavalt tähistatud veergudesse, on järgmised:

Remondilõigu üldised andmed (teeregistrist vastavalt teeregistri aadressüsteemile, kui andmed sisestatakse ise, siis sõltub lõigu pikkus FWD mõõtmiste sammust):

- tee number **TEE**
- sõiduosa **SOSA**
- lõigu algusaadress **ALGUS**
- lõigu lõppaadress **LOPP**
- lõigu pikkus **PIKKUS**

TEE	SOSA	ALGUS	LOPP	PIKKUS
1	1	10375	10475	100
1	1	14175	14275	100
1	1	14275	14375	100

FWD mõõtmistulemused (teeregistrist või FWD mõõtmistulemused objektile) ja nende alusel teeregistris arvatud näitajad (ei ole siinkohal kohustuslikud, omavad informatiivset iseloomu)

- FWD mõõtmiste teostamise kuupäev **FWDKPV**
- katte temperatuur FWD mõõtmiste teostamisel **KATETEMP**
- rakendatav koormus FWD koormusplaadile **FWDJOUR**
- deformatsiooniandurite mõõtmistulemused
 - o andur d_0 **D0**
 - o andur d_{300} **D300**
 - o andur d_{600} **D600**
 - o andur d_{750} **D750**
 - o andur d_{900} **D900**
 - o andur d_{1200} **D1200**
 - o andur d_{1500} **D1500**

FWDKPV	KATETEMP	FWDJOUR	D0	D300	D600	D750	D900	D1200	D1500	
26.08.1999		28	780	137	117	103	95	87	71	56
26.08.1999		28	785	128	120	109	100	93	78	64

- FWD mõõtmiste teostamise aasta **FWDAASTA**
- FWD mõõtmiste teostamise kuu **FWDKUU**

- FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud katendi üldine E-moodul teeregistrist

EMOODUL

FWDAAST/FWDKUU(EMOODUL		
1999	8	657,460
1999	8	697,384

Katte tüübi määramine

Katte tüüp **KATE** (vastavalt teeregistri klassifikatsioonile, on aluseks veeru **Katte liik** täitmisele, mida vaata allpool; kui täidate kohe veeru **Katte liik**, siis ei ole siintoodud veeru täitmine kohustuslik)

- tihe asfaltbetoon - 13
- poorne asfaltbetoon - 14
- killustikmastiksasfalt - 15
- kuumpinnatud asfaltbetoon - 16
- dreenasfaltbetoon - 17
- valuasfalt - 18
- kergasfaltbetoon - 21
- mustkate, bituumenstabiliseeritud kate - 22
- bituumenmakadam - 23
- põlevkivituhkbetoon - 24
- stabiliseeritud kate - 25
- freesipurust kate - 26
- pinnatud kruusatee - 27

KATE
13
13

Katte liik **Katte liik** (vastavalt tabelile 2.3)

- TAB-kate olemasolevale kattele - 1
- TAB-kate tasandus-freesimisele - 2
- TAB-kate tasanduskihiga - 3
- TAB-kate bituumenstabil. alusega - 4
- TAB-kate kompleksstabil. alusega - 5
- TAB-kate killustik-alusega - 6
- Mustkate - 7
- Põlevkivituhkbetoonkate - 8
- Pinnatud kruusatee - 9

Katte liik
1
1

Liiklusloenduse andmed (teeregistrist, kuid kui on teostatud projekteerija poolt liiklusloendus ja on arvatud koormussagedus või mingil muul viisil on teada remondiobjekti koormussagedus (märgitakse ära lehel *Seaded & üldandmed*), siis alltoodud liiklussageduse väljade täitmine ei ole kohustuslik ja täidetakse koheselt koormussageduse väli **Q**)

- keskmine ööpäevane liiklussagedus **KAL**
- sõidu- ja pakiautode % **SAPA**

- veoautode ja autobusside % **VAAB**
- autorongide % **AR**
- loenduse teostamise aasta **LOENDA**

KAL	SAPA	VAAB	AR	LOENDA
27570	84	9	7	2006
27570	84	9	7	2006

Perspektiivse koormussageduse Q arvutamiseks vajalikud lähteandmed. Katendi tugevustegur (tabel 3.2) Ktt ja Raskeliikluse keskmine kasvutegur aastast Kasvutegur määratakse ära lehel *Seaded & üldandmed*. Kui on teostatud projekteerija poolt liiklusloendus ja on arvatud koormussagedus või mingil muul viisil on teada remondiobjekti koormussagedus (märgitakse ära lehel *Seaded & üldandmed*), siis alltoodud välja täitmine ei ole kohustuslik ja täidetakse koheselt koormussageduse väli Q .

- Rajategur **Rajategur**

Rajategur
0,45
0,45

Objekti üldised andmed (määratakse remondiobjektile)

- niiskuspaikkonna tüüp **Paikkond**
- mulde kõrgus **Mulde kõrgus**

Paikkond	Mulde kõrgus
1	0,4
2	0,6

Remondiobjekti geoloogiliste profiilide alusel määratud katendi järjekorranumber lehel *Katendid* märgitakse veergu **Katend** ja see on aluseks **Arvut. Katend** veeru automaatseks täitmiseks.

Katend
1
1

Analüüsi tulemusena remondi käigus allesjääva teekonstruktsiooni (remondiobjekti geoloogiliste profiilide alusel määratud) osa üldise E-mooduli arvutuse järjekorranumber lehel *Katendid* märgitakse veergu **RemKatend** ja see on aluseks **ERem** veeru automaatseks täitmiseks.

RemKater
24
24

2. KATENDI ÜLDISE ELASTSUSMOODULI ARVUTAMINE FWD MÕÕTMISTULEMUSTE ALUSEL

Katendi üldise E-mooduli arvutamine FWD mõõtmistulemuste alusel:

- niiskuspaikkonna alusel

- katte liigi alusel

Seos (2.1), tabel 2.1

Katendi üldise E-mooduli arvutamine Elastsete katendite projekteerimise juhendi 2001-52 metoodika kohaselt

Tulemuste võrdlus ja väiksema E-mooduli väärtuse valik edasiseks kasutamiseks

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

$$E_{eq2001-52} = C * E_{eq}^e * T^t * M_i * H_j \quad (2.1)$$

kus: 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;

C, e, t – empiirilised konstandid (vt. tabel 2.1);

E_{eq} - katendi üldine E-moodul koormusplaadi keskel, MPa (vt. seos (2.2)).

Põhivalem katendi üldise elastsusmooduli arvutamiseks mõõdetud vajumite alusel koormusplaadi keskel (E_{eq}) põhineb Boussinesq'i võrranditel ja on esitatav kujul [2]:

$$E_{eq} = 0,25pFS(1-n^2)/d_0 \quad (2.2)$$

kus: E_{eq} - katendi üldine E-moodul koormusplaadi keskel, MPa;

F – kontaktsurve koormusplaadi all, kPa;

S – koormusplaadi diameeter, mm;

? – Poisson'i tegur;

d_0 – deformatsioon koormusplaadi keskel, μm .

Eelnevat arvesse võttes on leitud katendi üldise E-mooduli arvutamisel seoses (2.1) esinevatele empiirilistele konstantidele (C, e, t) ja teguritele (M_i , H_j) uued väärtused nii niiskuspaikkonnast kui ka katte liigist lähtuvalt (tabel 2.1).

Tabel 2.1

Niiskuspaikkonna tüüpi ja katte liiki arvestades leitud konstantide e , t , C ja tegurite M_i ja H_j väärtused kasutamiseks valemis (2.1) katendi üldise E-mooduli arvutamiseks, mis on võrreldav 2001-52 meetodika alusel arvatatuga

		Niiskuspaikkonna tüüp			Katte liik			
		1	2	3	1	2	3	4
					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
R^2		0,666	0,956	0,728	0,700	0,753	0,800	0,868

Kui olemasolevad andmed võimaldavad, tuleks katendi üldise E-mooduli väärtused FWD mõõtmistulemuste alusel leida seosega (2.1) nii niiskuspaikkonnast kui ka katte liigist lähtuvalt leitud tegureid ja konstante kasutades (tabel 2.1), saades kaks katendi üldise E-mooduli väärtust. Lisaks neile kahele E-mooduli väärtusele on võimalik katendi geoloogiliste profiilide alusel võimalik arvutada ka katendi üldine E-moodul Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 meetodika alusel lehel *Katendid*. Seejärel peab insener otsustama, kumba katendi üldise E-mooduli väärtust kasutada. Üldjuhul tuleb katte remondi projekteerimisel aluseks võtta halvem, st. madalam E-mooduli väärtus.

Arvutustulemused väljenduvad *Mõõtmisandmete* lehel järgmistes veergudes:

- katendi üldine E-moodul arvatud seose (2.2) alusel **Eeq**
- katendi üldine E-moodul arvatud lähtudes niiskuspaikkonnast **E2001_52_pk**
- katendi üldine E-moodul arvatud lähtudes katte liigist **E2001_52_KLiik**
- edasiseks andmetöötluks valitud katendi üldine E-moodul **E2001_52_valik**
- Elastsete katendite projekteerimise juhendi 2001-52 meetodika alusel arvatud katendi üldine E-moodul **Arvut. Katend**

3. KOORMUSSAGEDUS JA KATENDI NÕUTAV (VAJALIK) ELASTSUSMOODUL

Katendi nõutava (vajaliku) E-mooduli arvutamine Juhend 2001-52, seos (3.2)

Kuna katendarvutuses 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 (3.1)), 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 linnatänavail.
- 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 Teedestituut) 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]:

$$Q_a = a' \sum_{j=1}^m Q_j K_j, \quad (3.1)$$

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]:

$$E_{vaj} = (a * \log(Q) + b) * K_{tt} \quad (3.2)$$

kus: Q – (ennustuslik) koormussagedus, $V_1 / \text{ööp}$ või $V_2 / \text{ööp}$ (E_{vaj} arvutamisel peab Q arvuline väärtus olema minimaalselt 2); Seost (3.2) ei või kasutada V_3 järgi määratud koormussageduse puhul; V_1, V_2, V_3 – koormussageduse arvutusveokid;
 a ja b – konstandid (tabel 3.1);
 K_{tt} – katendi tugevustegur (tabel 3.2).

Tabel 3.1

Konstandid a ja b katendi nõutava üldise E-mooduli (E_{vaj}) arvutamiseks seoses (3.2) [4]

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

Tabel 3.2

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 arvutatud seose (3.2) alusel, tuleb tulemust võrrelda tabelis 3.3 toodud minimaalsete (E_{min}) suurustega. Kui E_{vaj} osutub neist väikesemaks, tuleb katend projekteerida tabelis 3.3 toodud E_{min} järgi.

Tabel 3.3

Minimaalsed katendi 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]:

$$Q = 10^{(E_{min} - b)/a} \quad (3.3)$$

Arvutustulemused väljenduvad *Mõõtmisandmete* lehel järgmistes veergudes:

- Perspektiivne koormussagedus **Q**
- katendi nõutav üldine E-moodul **Evaj**

4. HOMOGEENSETE LÕIKUDE MOODUSTAMINE

Homogeensete lõikude moodustamine FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud katendi üldise E-mooduli väärtuste alusel
Vajadusel ka muude olemasolevate andmete arvestamine

FWD mõõtmised remondiobjektidel peavad olema teostatud maksimaalselt 25 m sammuga mõlemal sõidusuunal (malekorras asetusega) parempoolse rattaroopa kohal. Seosega (2.1) arvatud katendi üldiste E-moodulite väärtuste alusel moodustatakse homogeensed lõigud (E-mooduli väärtuste erinevus mitte üle 25 (NB! muudetav suurus lehel *Seaded & üldandmed*) MPa), mida edaspidisel remondiprojekti koostamisel käsitletakse ühtsena.

Lisaks teekonstruktsiooni tegelikele (FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud) 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, niiskuspaikkonna tüüp, kraavid jmt.) olulisi andmeid, mis võivad mõjutada teekonstruktsiooni töötamist ning lähtudes nendest vajadusel muutma katendi üldise E-mooduli alusel moodustatud homogeenseid lõike.

Homogeensete lõikude moodustamistulemus väljendub *Mõõtmisandmete* lehel veerus **HL**. Homogeensed lõigud on numereeritud kasvavalt alates remondiobjekti algusest. Kõrvalveerus **Vajaka** on toodud vahe **Evaj - E2001_52_valik**, mille väärtus (MPa) väljendab seda, kui palju on olemasoleva katendi üldine E-moodul väiksem või suurem katendikonstruktsiooni nõutavast üldisest E-moodulist.

5. FWD MÕÕTMISTULEMUSTE TAANDAMINE NORMKOORMUSELE JA ARVUTUSLIKULE TEMPERATUURILE

FWD mõõtmistulemuste taandamine normkoormusele ja arvutuslikule temperatuurile
Seos (5.2), tabel 5.2

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 (5.1)). Normkoormuse (50 kN) korral on vajalik ($F_{vajalik}$) kontaktsurve ekvivalent 300 mm plaadil 707 kPa [9].

Mõõdetud deformatsioonide taandamine normkoormusele:

$$d_{r\ 50kN} = d_r * (F_{vajalik} / F_{mõõdetud}) \quad (5.1)$$

- kus: $d_{r\ 50kN}$ - normkoormusele 50 kN vastav deformatsioon kaugusel r (mm) koormusplaadi keskpunktist, μm ;
 d_r - FWD-ga mõõdetud deformatsioon koormusplaadi kontaktsurvel $F_{mõõdetud}$ (kPa) kaugusel r (mm) koormusplaadi keskpunktist, μm ;
 $F_{vajalik}$ - 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 5.2).

Tabel 5.2

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:

$$d_{r\ 50kNT} = d_r * (F_{\text{vajalik}} / F_{\text{mõõdetud}}) * K_t \quad (5.2)$$

- kus: $d_{r\ 50kNT}$ - normkoormusele 50 kN ja baastemperatuurile +10°C vastav deformatsioon, μm ;
 d_r - FWD-ga mõõdetud deformatsioon koormusplaadi kontaktsurvel $F_{\text{mõõdetud}}$ (kPa), μm ;
 F_{vajalik} - 50 kN koormusele vastav koormusplaadi kontaktsurve ($F_{\text{vajalik}} = 707$ kPa);
 K_t - temperatuuriparandustegur (tabel 5.2).

Arvutustulemused väljenduvad koormus- ja temperatuuriparandustegurina *Mõõtmisandmete* lehel veerus **dFFK**

6. VAJUMIKAUSI PARAMEETRITE SCI, BDI JA BCI ARVUTUS

Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI väärtuste arvutamine Seosed (6.1), (6.2) ja (6.3)

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

- Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D0 ja D300 lugemite vahe ($d_0 - d_{300}$), mis iseloomustab ülemiste katendikihtide seisukorda:

$$SCI = d_{0\ 50kNT} - d_{300\ 50kNT} \quad (6.1)$$

- Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D300 ja D600 lugemite vahe ($d_{300} - d_{600}$), mis iseloomustab alusekihtide seisukorda:

$$BDI = d_{300\ 50kNT} - d_{600\ 50kNT} \quad (6.1)$$

- Base Curvature Index (BCI) e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1200 ja D1500 lugemite vahe ($d_{1200} - d_{1500}$), mis iseloomustab aluspinnase seisukorda:

$$BCI = d_{1200\ 50kNT} - d_{1500\ 50kNT} \quad (6.3)$$

Arvutustulemused väljenduvad *Mõõtmisandmete* lehel järgmistes veergudes:

- Surface Curvature Index **sci**
- Base Damage Index **bdi**
- Base Curvature Index **bci**

7. VAJUMIKAUSI PARAMEETRITE SCI, BDI JA BCI LUBATAVAD PIIRVÄÄRTUSED

Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI lubatavate piirväärtuste arvutamine
Seos (7.1), tabel 7.1
Arvutatud SCI, BDI ja BCI väärtuste nende võrdlus maksimaalselt lubatavate piirväärtustega

Praktilise töö käigus tuleks määrata liiklusloenduse andmete põhjal vastava teelõigu koormussagedus, mille kaudu on võimalik arvutada vähim vajalik E-moodul (vt. p. 3). Sisestades nõutava E-mooduli (E_{vaj}) väärtuse võrrandisse (7.1) saab arvutada suurima lubatava vajumikausi parameetri ehk selle piirväärtuse antud teelõigu kohta.

Vajumikausi parameetrite piirväärtuste arvutamise võrrandil on astmefunktsiooni kuju:

$$y = a_0 * x^{a_1} \quad (7.1)$$

- 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 7.1. |

Arvutustulemused põhinevad *Mõõtmisandmete* lehe veergu **Katte liik** sisestatud väärtustel (aluseks tabel 7.1) ja tulemused väljenduvad *Mõõtmisandmete* lehel järgmistes veergudes:

- Surface Curvature Index piirväärtus **sciKR**
- Base Damage Index piirväärtus **bdiKR**
- Base Curvature Index piirväärtus **bciKR**

Tabel 7.1

Konstantide a_0 ja a_1 väärtused vajumikausi parameetrite suurimate lubatavate piirväärtuste arvutamise võrrandis (7.1)

Katte liik			Vajumikausi parameeter y	Konstantide väärtused		R ²
Nimetus	Nr. Mõõtmis- andmete lehel Katte liik	Nr. vastavalt tabelile 2.1 (järe nr.)		a ₀	a ₁	
TAB-kate olemasolevale kattele	1	2	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	2	1	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	3	2	SCI	169 150 407	-2,54	0,92
			BDI	104 111	-1,27	0,38
			BCI	51 220	-1,36	0,68
TAB-kate bituumenstabil. alusega	4	3	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	5	3	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	6	1	SCI	498 577	-1,45	0,87
			BDI	10 645	-0,84	0,21
			BCI	51 984	-1,31	0,61
Mustkate	7	4	SCI	834 463	-1,55	0,97
			BDI	2 055 457	-1,84	0,94
			BCI	983 446	-1,99	0,84
Põlevkivi-tuhkbetoonkate	8	4	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	9	4	SCI	13 705	-0,72	0,66
			BDI	258 341 445	-2,83	0,96
			BCI	255 760	-1,87	0,95

8. VAJUMIKAUSI PARAMEETRITE BDI, SCI JA BCI VÄÄRTUSTE VÕRDLUS MAKSIMAALSELT LUBATAVATE PIIRVÄÄRTUSTEGA

Defektsete teekonstruktsiooni osade kindlaksmääramine vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI tegelike ja lubatud väärtuste võrdluse tulemusena

Peale vajumikausi parameetrite tegelike väärtuste (p. 6) ja maksimaalselt lubatavate piirväärtuste (p. 7) 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/praendada.
- 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).

Võrdlustulemused väljenduvad *Mõõtmisandmete* lehel veerus **Seisukord**. Tähis OK väljendab seisukorda, kus SCI, BDI ja BCI väärtustega ei esine probleemi ehk tegelik väärtus on suurem kui piirväärtus, Tähis SCI, BDI või BCI väljendab seisukorda, kus siis vastavalt SCI, BDI või BCI tegelik väärtus on piirväärtusest väiksem ja teekonstruktsiooni remondi projekteerimisel tuleb projekteerimisega esinev puudus kõrvaldada.

9. HOMOGEENSETE LÕIKUDE ÜMBERFORMEERIMINE LÄHTUDES DEFEKTSE TEEKONSTRUKTSIOONI OSA PAIKNEMISSÜGAVUSEST

Homogeensete lõikude ümberformeerimine lähtudes defektse teekonstruktsiooni osa paiknemissügavusest ja kavandatavast remonditehnoloogiast

Vastavalt probleemide esinemise asukohale (*Mõõtmisandmete* lehel veerg **Seisukord**) tuleb katendi üldise E-mooduli alusel formeeritud homogeensed lõigud (p. 4) ümber formeerida, arvestades teatud sügavusel teekonstruktsioonis esinevate probleemide kõrvaldamise vajadusega ja selleks kasutatavate erinevate tehnoloogiatega kavandatava remondi käigus.

Homogeensete lõikude ümberformeerimise teostab insener *Mõõtmisandmete* lehel veerus **HLDef**, tuginedes tulemustele veergudes **Seisukord**, **HL** ja **Vajaka** ning isiklikele kogemustele.

10. DEFECTSE TEEKONSTRUKTSIOONI ALLA JÄÄVA KONSTRUKTSIOONI-OSA ÜLDISE E-MOODULI MÄÄRAMINE ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE JUHENDI 2001-52 ALUSEL

Remondi käigus eemaldatava defektse teekonstruktsiooni all oleva ning remondi käigus alles jääva vana teekonstruktsiooni E-mooduli määramine Juhend 2001-52

Kuna FWD mõõtmistulemused ei ole kasutatavad SCI, BDI ja BCI (p. 8) alusel määratud defektse teekonstruktsiooni alla jääva osa E-mooduli määramiseks (vt. ptk. 3 käesoleva aruande vahearuandes 2006-11/V), 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 profile.

Kuna Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 kohta arvutitarkvara koostamine ei kuulunud käesoleva teadustöö raamesse, siis kasutatakse defektse teekonstruktsiooni alla jääva konstruktsiooniosa (remondil alles jääva teekonstruktsiooni osa) üldise E-mooduli arvutamiseks juhendi 2001-52 kohaselt Elmur Karu, Ants Vaimeli, Maano Koppeli, Taavi Tõntsi või teiste koostatud vastavat arvutitarkvara.

Võimalus on kasutada selleks ka lehel *Katendid* toodud alamprogrammi, kuna meid ei huvita antud hetkel konstruktsioonis tekkivad pinged vaid ainult üldine E-moodul remondi käigus allesjääva olemasoleva teekonstruktsiooni pinnal.

Arvutatud üldine E-moodul remondi käigus allesjääva olemasoleva teekonstruktsiooni pinnal kantakse *Mõõtmisandmete* lehel veergu **ERem**. Lehel *Katendid* asuva alamprogrammi kasutamisel saab insener täita *Mõõtmisandmete* lehel veeru **RemKatend** lehel *Katendid* olevate vastavate katendikonstruktsioonide järjekorranumbritega ning selle tulemusena kantakse allesjääva teekonstruktsiooni E-moodul automaatselt *Mõõtmisandmete* lehel veergu **ERem**.

11. **HOMOGEENSETE LÕIKUDE ÜMBERFORMEERIMINE LÄHTUDES REMONDI KÄIGUS ALLES JÄÄVA VANA TEEKONSTRUKTSIOONI E-MOODULIST**

Homogeensete lõikude ümberformeerimine lähtudes remondi käigus alles jääva vana teekonstruktsiooni E-moodulist

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.

Homogeensete lõikude ümberformeerimise lähtudes remondi käigus alles jääva vana (olemasoleva) teekonstruktsiooni E-moodulist teostab insener *Mõõtmisandmete* lehel veerus **RemLõigud**, tuginedes tulemustele veergudes **Seisukord**, **HL**, **Vajaka** ja **ERem** ning isiklikele kogemustele.

12. **KATENDI PROJEKTEERIMINE ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE JUHENDI 2001-52 ALUSEL**

Katendi projekteerimine homogeensetele lõikudele Juhend 2001-52

Katendi arvutamiseks kasutatakse Elastsete teekatendite projekteerimise juhendit 2001-52, arvestades kõiki selle ettekirjutisi. Kuna Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 kohta arvutitarkvara koostamine ei kuulunud käesoleva teadustöö raamesse, siis kasutatakse defektse teekonstruktsiooni alla jääva konstruktsiooniosa (remondil alles jääva teekonstruktsiooni osa) üldise E-mooduli arvutamiseks juhendi 2001-52 kohaselt Elmur Karu, Ants Vaimeli, Maano Koppeli, Taavi Tõntsi või teiste koostatud vastavat arvutitarkvara. Aluse, millele hakatakse uut katendikonstruktsiooni dimensioneerima, üldiseks E-mooduliks võetakse remondi käigus alles jääva teekonstruktsiooni E-mooduli alusel moodustatud vastava homogeense lõigu minimaalne üdine E-moodul.

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 (**RemLõigud**) jagatud remondiobjekt koos nendele homogeensetele lõikudele arvutatud katendikonstruktsioonidega.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõpparuandes esitatud arvutitarkvara FWD mõõtmistulemuste kasutamiseks teekatendi remondiprojekti koostamisel on esimeseks üldkasutatavaks väljundiks FWD kõigi seitsme deformatsioonianduri mõõtmistulemuste kasutamiseks Eestis ja selle abil olemasoleva teekonstruktsiooni tegeliku seisukorra hindamiseks.

Vaatamata sellele, et tarkvara püüab arvestada katendikonstruktsioonis esinevate võimalike defektidega ja arvestada tegelikku olukorda teel, ei tohiks mingil juhul jätta kõrvale nn. „inseneri vaistu“ ja kogemust ning vajadusel peab insener arvestama ka muude kättesaadavate andmetega (näiteks pinnase- (ja materjali-)proovide laborianalüüsid jmt.), mis võivad mõjutada katendikonstruktsiooni töötamist.

Kuna nimetatud arvutitarkvara põhineb tuletatud seostel (katendi üldise E-mooduli arvutus FWD mõõtmistulemuste baasil lähtudes niiskuspakkonnast ja katte tüübist; SCI, BDI ja BCI piirväärtuste arvutus), mida siiani meil kasutatud ei ole, siis tuleks käesoleva tarkvara rakendamise esimesel etapil pöörata erilist tähelepanu saadavatele tulemustele ning hinnata neid oma insenerikogemusest lähtuvalt.

Kindlasti tuleks kõigist tähelepanekutest käesoleva tarkvara kasutamisel informeerida tarkvara loojaid. Samuti on teretulnud kõik ettepanekud tarkvara täiendamiseks ja muutmiseks.

Ette tänades ja mõistvale suhtumisele ning koostööle lootma jäädes,

Andrus Aavik – e-post: andrus.aavik@ttu.ee

Harri Rõuk – e-post: harri.rouk@ttu.ee .

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)*. 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 arvatud 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/I1, Maanteeamet. TTÜ teedeinstituut, teadustöö 614L. Tallinn 2006, 67 lk.
12. FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel. Informatsioon 2. 2006-11/I2, Maanteeamet. TTÜ teedeinstituut, teadustöö 614L. Tallinn 2006, 38 lk.
13. FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel. Vahearuanne. 2006-11/V, Maanteeamet. TTÜ teedeinstituut, teadustöö 614L. Tallinn 2007, 54 lk.