

КЛАСИЧНА И САВРЕМЕНА КОНТРОЛА ЗБИЈАЊА МАТЕРИЈАЛА ПРИ ИЗГРАДЊИ ПУТЕВА СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА КОНТИНУАЛНУ КОНТРОЛУ

Симо Тошовић, Владета Вујанић
Институт за путеве А.Д., Београд, Србија

Резиме: Приказана је ујоредна анализа класичних и савремених метода контроле збијања финозрних и крујнозрних материјала. Указује се на важности оптимизације и начина контроле збијања, као и на недостатаке «традиционалних» начина испитивања. Даје се, посебан осврт на испитивања уређајем, са падајућим теџом и на континуалну контролу градње (ССС). Континуалним праћењем поступка збијања, би се избегла хетерогености при збијању слојева и непоузданости класичних метода испитивања – меситичним проверавањем квалитета. Полазећи од тога, да збијање има врло велики утицај на трајности израђеног објекта и на трошкове њиховог одржавања или великих оправки, - од великог је значаја ићи ефикасније контролисање самог процеса и оптимизације оптималне збијености (високог степена и уједначености).

Кључне речи: Контрола збијања, континуална контрола градње, оптимизација

CLASSIC AND MODERN CONTROL OF MATERIALS COMPACTION DURING THE ROAD CONSTRUCTION WITH PARTICULAR REFERENCE TO THE PERMANENT CONTROL

Abstract: Revealing the outline comparative analysis of classic and modern methods pertaining to the compaction of microgranular and coarse-grained materials. It is pointing to the relevance of optimizing and controlling the compaction, and also to the drawbacks of "traditional" testing modes. Moreover, it is providing a particular reference to tests with falling weight device and permanent control of construction (CCC). Permanent monitoring of compaction procedures, whereby one would avoid heterogeneity in the compaction of layers and unreliability of classic testing methods - by scattered quality checking. Taking the compaction as a starting point in view of its impact on the duration of constructed facility, and also by taking into account its maintenance costs or major repairs - it is important to control more efficiently the process and attainment of optimal compaction (high rate and uniformity).

Key words: Compaction control, continuous compaction control

1. УВОД

Сваки материјал уграђен у слој коловозне конструкције или испод ње, под дејством сталних или повремених оптерећења од возила којима је изложен, показује тенденцију накнадног збијања.

У циљу онемогућавања диференцијалног слегања (при изградњи насипа), или промене запремине услед допунског збијања материјала, које неминовно доводе до деформација у коловозној конструкцији, потребно је извршити оптимално збијање материјала.

Оптимизација збијања подразумева најповољнији однос између квалитета збијања, потребне енергије и времена збијања и потребних геотехничких параметара материјала који се збија.

Стога, може се констатовати да је збијање материјала сложен поступак, зависан од бројних чинилаца, самим тим контрола овог процеса је озбиљна и сложена.

2. КЛАСИЧНА КОНТРОЛА ГРАДЊЕ

Провера достигнуте збијености на градилишту, традиционално се темељи се на појединачним испитивањима на одређеном растојању или је прописана по техничким спецификацијама извођења радова, на количину уграђеног материјала.

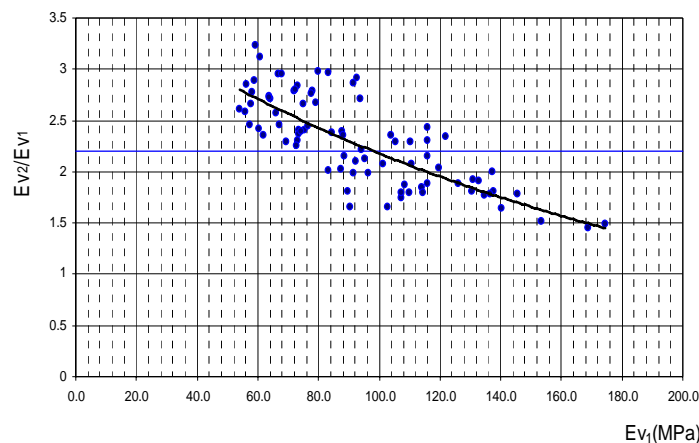
Уколико се посматра планум пута, однос између испитивања изведених у контроли градње и укупне површине која се збија, износи 1:1.000.000,00. Оваквом методологијом испитивања, не може се добити јасна слика о томе када је један материјал уграђен у доњи или горњи носећи слој недовољно збијен или је дошло до презбијања материјала. Ефекат претеране збијености у плану пута доводи до "пуцања" или дробљења зрна агрегата, што може имати негативне ефекте на зону дејства мрза.

Очигледно је да се оваквим начином контроле не може добити потпуна слика о постигнутом квалитету, односно уједначености збијања материјала.

Деформабилно – носиве карактеристике збијеног слоја на невезаним материјалима врло често се контролишу испитивањем деформацијских модула, било по Швајцарској методи - модула стишљивости (M_s) или по Немачкој методи E_{v1} и E_{v2} , као и њиховог односа E_{v2}/E_{v1} .

Однос ова два модула E_{v2}/E_{v1} се литерално и по техничким спецификацијама прописује до допуштене горње вредности од 2.2, што је веома тешко остварити.

На дијаграму 1 приказана је функционална зависност између односа ова два деформацијска модула (E_{v2}/E_{v1}) и деформацијског модула у првом циклусу оптерећења (E_{v1}), на деоници аутопута Нови Сад – Београд.



Дијаграм 1. Дијаграм зависности E_{v2}/E_{v1} у функцији од модула деформације E_{v1}

Модул деформације E_{v1} је требао бити већи од 60 МПа, што је углавном и остварено, али је однос модула у поновљеном и првом циклусу оптерећења (E_{v2}/E_{v1}), у великом броју случајева био већи од прописаног, као што се и може видети са дијаграма. На основу овог примера, али и сличних са других градилишта, може се закључити да однос између деформацијских модула не може бити опште прихваћен критеријум за оцену квалитетног збијања материјала.

С друге стране поставља се питање хомогености и равномерног збијања материјала на путевима. Уколико на овом примеру израчунамо коефицијент варијације за деформацијске модуле добијене на овој деоници аутопута, по препоруци Аустријских прописа за путеве и аутопутеве добићемо вредности приказане у табели број 1.

Табела бр.1. – Прорачун коефицијента варијације

| Деформацијски модули | Коефицијент варијације v (%) | Прорачун коефицијента варијације на деоници Нови Сад - Београд | | |
|----------------------|--------------------------------|--|-----------------------------|---------------------|
| | | Критеријум за горњи носећи слој | Стандардна девијација C_x | Средња вредност x |
| Ев ₁ | 15 | 28,4 | 93,7 | 30,3 |
| Ев ₂ | 15 | 37,6 | 205,6 | 18,31 |

На основу прорачунатих коефицијента варијације може се констатовати да су добијене вредности знатно изнад прихватљивих. Стога, за горњи носећи слој можемо констатовати да је нехомоген.

Искуство је показало да век трајања конструкције зависи од хомогености изведеног слоја. Такође, при контроли градње већина класичних метода испитивања су временски захтевне, те је извођач принуђен да на резултате испитивања чека сатима. Испитивање деформацијских модула Ев₁ и Ев₂ по једном опиту може да траје и до 45 min. Ово неминовно има за последицу прекидање или успоравање извођења радова.

3. САВРЕМЕНИЈЕ МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

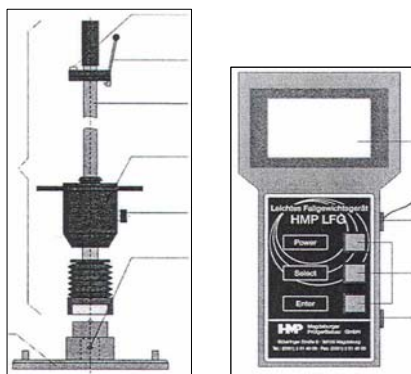
Због ових недостатака временом је у праксу уведена савременија контрола градње, која се заснива на бржим, неструктивним и оперативнијим поступцима испитивања. Пре свега треба напоменути динамичку плочу са падајућим са базном плочом Ø300 mm као и уређај развијен у Сједињеним Америчким државама - GeoGauge™.

3.1. Испитивања динамичким уређајем са падајућим тегом

Динамичка плоча са падајућим тегом омогућава једноставније и брже испитивање, као и моментално добијање резултата сваког мерења. При извођењу опита није потребан контратерет, стога је омогућено и испитивање на мање приступачним местима, као што су ровови и сл.

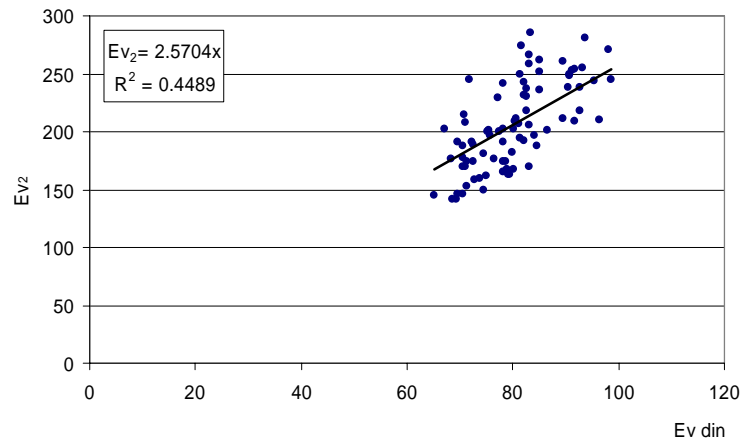
На основу искуства и обрађених резултата испитивања може се констатовати:

- корелациона зависност између динамичког Ев_{din} модула деформације и статичког модула деформације Ев₂ се креће од 1,8 до 3,0 за поједине врсте материјала.
- дубина дејства уређаја је као и код статичке плоче 2 x D, 60 сантиметара
- уређај је осетљивији на промену влажности од статичких модула деформације
- с обзиром на велики распон коефицијента колерације препоручљиво је пре почетка градилишта урадити паралелно испитивање статичком и динамичком плочом и утврдити зависност деформацијских модула.



Слика бр. 2. – Динамички уређај са падајућим тегом са дисплејем за мерење

На поменутој деоници аутопута извршено је паралелно испитивање статичком и динамичком плочом. На дијаграму 2 приказана је зависност статичког модула деформације E_{v2} и динамичког модула деформације $E_{v_{din}}$.



Дијаграм 3. – Зависности статичког модула деформација E_{v2} и динамичког модула деформације $E_{v_{din}}$

3.2. Испитивања уређајем GeoGauge™



Слика 4. – Изглед уређаја GeoGauge™

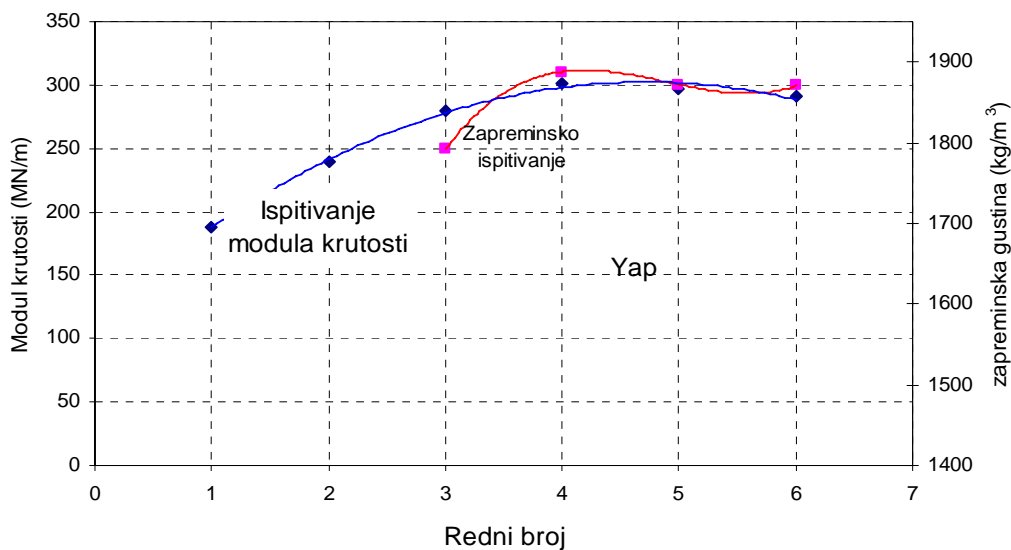
Уређај је конструисан у Сједињеним Америчким Државама и ради на принципу вибрација. Уређајем се може мерити или прорачунати следећи параметри:

- Јунгов модула еластичности (до $\max 610 \text{ MPa}$)
- могући су прорачуни и корелације са статичким модулима деформације, динамичком модулом као и степеном збијености.
- крутост подлоге до 70 MN/m

Димензије уређаја су $280 \times 210 \text{ mm}$, тежина 10 kg и дубина дејства вибрација је од 230 до 310 mm .

На следећем дијаграму дата је зависност између модула крутости и степена збијености који се могу добити преко овог уређаја.

Институт за путеве је недавно набавио овај уређај и сада се налази у фази експерименталног испитивања.



Слика 5. – Дијаграм зависности модула крутости = F (запреминска густина)

4. КОНТИНУАЛНА КОНТРОЛА ГРАДЊЕ

4.1. Опште

Због све строжијих захтева који се постављају у контроли градње као и потреби да се добије информација о квалитету изведеног процеса збијања на сваком мерном месту, развијене су методе континуалне контроле градње. Методе су недеструктивне и могу се сврстати у два типа:

- континуална контрола збијања (CCC), мерни уређај се налази на средству за збијање
- спектрална анализа површинских таласа (SASW) или континуална анализа површинских таласа (CSW).

Прикладнија је контрола збијања преко CCC – система, уређај је монтиран на ваљку и добија се непосредна информација о збијању материјала. Системом SASW и CSW потребна је посебна опрема где се преко система геофона и распрострањања таласа врши испитивање.

Принцип континуалне контроле градње CCC, састоји се у томе да се осцилација бубња за ваљање мења у функцији крутости подлоге.

Кретање преко акцелератора се мери на добошу ваљка и преко процесорске јединице израчунава се вредност динамичког збијања, а резултати се приказују на екрану, уз могућност штампања резултата.

На основу глобалног позиционог система (GPS), могуће је одредити позицију ваљка уз одступање од 5 cm. Предност нових ваљака састоји се у томе што је омогућена промена наношења силе од вертикалне, преко косе до хоризонталне.

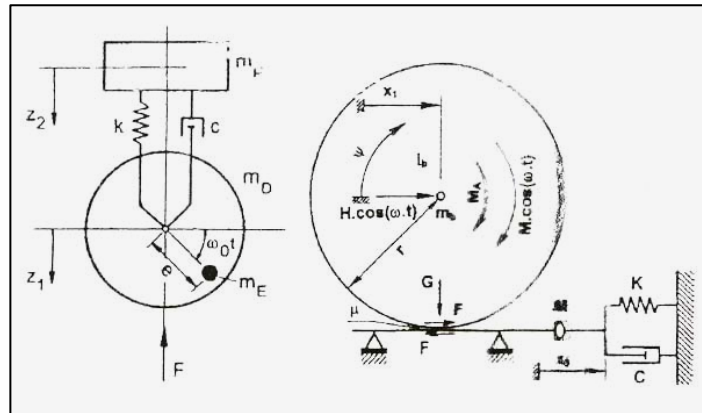
Овим системом могуће је вршити успешно збијање свих врста материјала уз оптимизацију броја прелаза.

4.2. Принцип рада континуалне контроле

Вибрацијски ваљак се теоретски може моделирати са два степена слободе (сл.3). Полази се од претпоставке да осцилација ваљка ради на основу повећања крутости подлоге, и на основу одзива сензор врши регистровање акцелерације бубња.

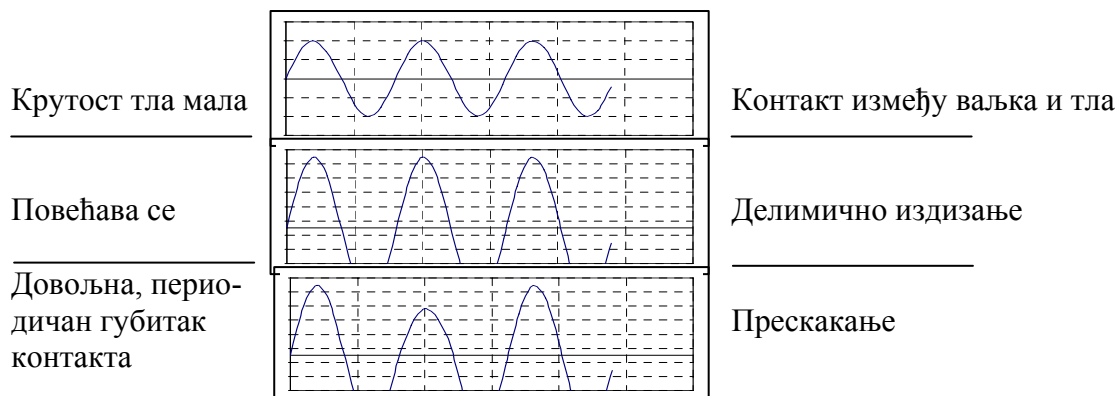
До сада су развијена два система за праћење континуалне контроле:

- мерењем сигнала преко коактометра
- мерењем сигнала преко тераметра



Слика 6. - Шема рада ваљка са два степена слободе

Начин рада вибрацијског ваљка на основу интеракције између бубња и тла приказан је на слици бр. 7.



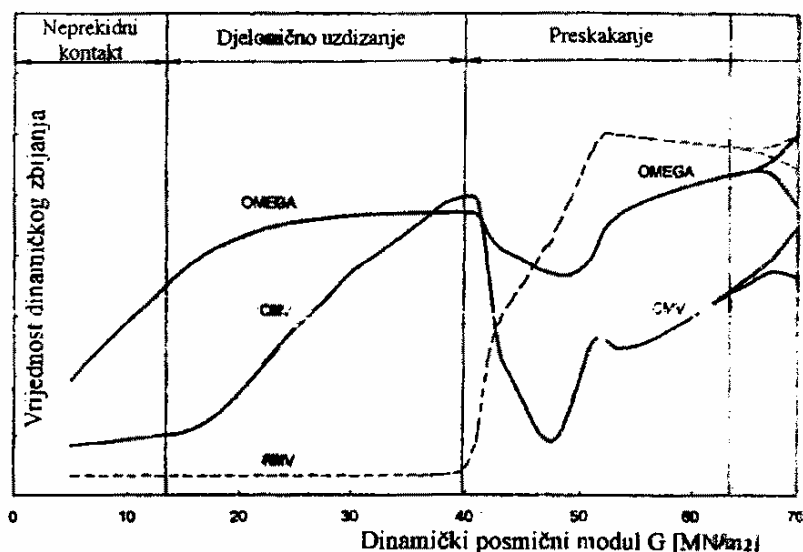
Слика 7. – Начин рада вибрацијског ваљка

Акцелараторски систем који се анализира и обрађује у процесној јединици, показује два параметра CMV и OMEGA.

Компакторска вредност (CMV) одређује се тако што се амплитуда прве хармонијске осцилације подели са амплитудом фреквенције побуде.

Поред ове предности добија се податак о начину рада бубња код ваљка, преко резонантне вредности (RM). Ова вредност се израчунава тако што се амплитуда полуфреквенције акцелараторског сигнала подели са амплитудом фреквенције побуде.

На дијаграму бр 4 се види да вредност (CMV) расте у почетку збијања са повећањем крутости тла.



Слика 8. – Вредности динамичког збијања (OMEGA, CMV, RMV) у функцији динамичког посмићног модула, зависно од начина рада (непрекидни контакт – дјеломично уздизање – прескакање бубња)

Вредност RM је у процесу збијања једнака је нули, уколико почиње да расте долази до прескакања контакта између ваљка и тла, то јест до неконтролисаног збијања.

Вредност OMEGA се прорачунава на основу енергије коју апсорбује тло.

Вредности континуалне контроле су се углавном до сада поредили са класичним начином испитивања, најчешће преко степена збијености или мерења деформацијских модула.

Вредности континуалне контроле су корелативне са класичним испитивањима. У последње време након развоја вибрацијских динамичких модула може се очекивати њихова директна употреба за одређивање квалитетног збијања материјала.

Предности континуалне контроле у односу на класичне методе су:

- континуалном контролом добијају се информације о збијању на целој површини
- резултати испитивања су доступни тренутно уз могућности измене параметара, те нема кашњења и успоравања процеса рада
- збијање материјала је оптимално, избегавају се ефекти недовољне збијености или претераног збијања.
- цене при континуалној контроли су знатно мање од цена класичних испитивања
- документација о контроли испитивања је доступна у целости, примопредајни поступак јако упрошћен и доказ квалитета за целу површину јасно видљив.

5. ЗАКЉУЧАК

При изградњи путева није битан само висок ступањ збијања, већ је од основног значаја и равномерност – хомогеност збијања. Досадашњом методологијом контроле градње – константан број прелаза, са константним параметрима ваљања и уз појединачна испитивања, не може се стећи увид у хомогеност једног слоја, у погледу збијености. Хомогеност подразумева минимум слабијих и „презбијених“ места, а стога и минимум одржавања и оправки. Најбржи и најефикаснији начин да се то постигне је коришћењем континуалне контроле ССС, у процесу изградње.

6. РЕФЕРЕНЦЕ

1. *Heinz Thurener, Ake Sandstrom: Continuous compaction control, CCC, Geodinamik AB, Stockholm, Sweden, European Workshop Compaction of soils and granular materijals, Paris, May 19th 2000, p.p.237-246*
2. *Хеиз Брандл: Збијање њла и друих зрнастих материјала за грађевине, UDK 624.131.52.001.3.*
3. *Симо Тошовић: Студија корелационе зависности на њрњем носећем слоју, Инститиути за њушеве а.г. 2003 њог.*