

# НАСОКИ ЗА МОДЕЛИРАЊЕ НА КОНСТРУКЦИИТЕ И ИЗВРШУВАЊЕ НА СТАТИЧКА И СЕИЗМИЧКА АНАЛИЗА ВО РАМКИТЕ НА ГРАДЕЖНО-КОНСТРУКТИВНАТА ПРОЕКТНА ДОКУМЕНТАЦИЈА

## 1. МОТИВАЦИЈА

(1) Досегашната пракса во рамките на изготвувањето и издавањето на мислење за сеизмичката стабилност на ново-проектираните, доградените, надградените и реконструирани објекти, како и досегашното долгогодишно искуство во ревидирањето на голем број на инженерски објекти и објекти од високоградбата во Институтот, укажа на потребата од дефинирање на одредени насоки при моделирањето на конструкциите и извршувањето на статичката и сеизмичката анализа во рамките на основниот градежно-конструктивен проект. Иако оваа проблематика е главно регулирана со соодветни технички нормативи и правилници кои се и ќе бидат на сила сè до донесувањето и усвојувањето на европските норми, сепак проблемот на несоодветното ниво на проектната документација се јавува како резултат на некои недоречености во постојните правилници, а и како резултат на различниот стил и долгогодишна пракса од страна на проектантите која не мора секогаш да се окарактеризира како исправна.

(2) Овој документ не треба да се сфати како текст со кој треба да се едуцираат и усовршуваат постојните инженери-проектанти во праксата (за таа цел постои обилна литература во светот, а и кај нас), туку како обид да се дадат совети и препораки во насока на практично и правилно размислување и решавање на проблемите врзани со моделирањето и анализирањето на конструкциите, посебно за проблемите кои не се јасно дефинирани или воопшто не се дефинирани во постојните технички нормативи. Се разбира, ставовите изнесени во овој текст не треба да се сфатат како апсолутни и за нив може во секое време да се полемизира и дискутира, а ако со доволно научни и стручни аргументи се покаже дека некои од нив не се соодветни, тие можат да се променат, сè со цел за изнаоѓање на правилни насоки кои ќе придонесат за поквалитетна и покоректна изработка на проектната документација.

(3) Во документот ќе бидат изложени некои ставови за моделирање на конструкциите, правилно користење на софтверот за анализа, потоа насоки за димензионирање и конструирање на конструктивните елементи, а сè во спрега со постојната техничка регулатива и последните методи и научни сознанија за анализата, проектирањето и однесувањето на конструкциите под дејство на статички и сеизмички оптоварувања. Овие дискусии ќе бидат илустрирани со примери на најчести грешки кои се прават од страна на проектантите во одредените фази на изработката на проектната документација.

## 2. МОДЕЛИРАЊЕ НА КОНСТРУКЦИИТЕ

(1) Со брзиот развој на информатичката технологија во светот веќе постојат најразлични софтверски пакети за анализа и проектирање на конструкции. Сите овие пакети се базираат на најмоќниот нумерички метод на денешницата – методот на конечни елементи. Ако пред 15-20 години користењето на овој метод беше привилегија само за поспецифични и поважни конструкции (затоа што не постоеа моќни компјутери и софтвер), сега веќе е можно методот да се користи за секој тип на конструкција. Меѓутоа, тоа не секогаш претставува предност ако корисниците не се соодветно обучени во насока на разбирањето на овој метод. Не случајно во многу високоразвиени земји во светот постојат упатства за користење на методот на конечни

елементи, односно насоки со кои се регулира правилното внесување на влезните параметри за системот и правилното толкување на добиените резултати од анализата. Со појавата на „user-friendly“ софтверот за анализа на конструкции со кои сите влезни податоци се внесуваат на брз и едноставен начин преку графички интерфејс, на прв поглед привидно како да исчезна потребата од разбирањето на методот на конечни елементи од страна на корисникот, со оглед на тоа што „за сè води грижа самиот софтвер“ со автоматското генерирање на мрежата од конечни елементи сè до добивањето на конечниот резултат од анализата. Меѓутоа токму тука е изворот на проблемите – за анализите за кои пред 15-20 години можеле да се извршуваат само од страна на специјализирани стручни лица, сега може да ги извршува секој проектант. Тоа е секако позитивно, но и „нож со две острици“, односно извор на голем број грешки за кои проектантите не се свесни со оглед на тоа што не секогаш имаат контрола со кои параметри и како се извршува анализата, која е крајно автоматизирана. Така, искуството со споредба на резултати за исти објекти анализирани со повеќе програми покажа дека дури и искусните аналитичари можат да погрешат, ако не се води сметка за основните принципи при анализата кои ќе бидат изнесени подолу во текстот. Значи, од ова не треба да се заклучи дека „user-friendly“ софтверот е сам по себе лош, напротив, туку дека треба многу внимателно и правилно да се користи.

**Грешка бр. 1:** *Проектантите често не ги знаат и не ги разбираат методите и претпоставките со кои се извршува анализата од страна на автоматизираниот софтвер. Затоа, пред да почнат да го користат софтверот, тие треба да се информираат во потполност за методите и претпоставките преку самата документација или преку техничката поддршка за софтверот. Се разбира, за ова тие треба да имаат лиценца за користење на софтверот што го користат, во спротивно голема е веројатноста дека софтверот нема да го користат правилно. Исто така, треба да консултираат и некоја практична литература која го објаснува методот на конечни елементи.*

**Грешка бр. 2:** *Поискусните проектанти им ги препуштаат компјутерските анализи на помладите инженери, со оправдување дека „младите повеќе се снаоѓаат и разбираат од информатичката технологија“. Ова е голема грешка и секогаш треба главната компјутерска анализа да ја води искусен проектант кој од искуство „знае“ што треба да добие како резултат.*

(2) Се препорачува при првото користење на определен софтвер за анализа и проектирање на конструкции да се направи споредба на резултатите добиени за одреден анализиран модел со друг софтвер кој претходно бил користен и кој корисникот го владее. Алтернативно, може да се направи „рачна“ пресметка и да се споредат резултатите. Под „резултати“ се мисли на добиените периоди на вибрации, реакции, поместувања, статички влијанија и димензионирање на пресеците. Ако резултатите се разликуваат повеќе од 5 % тогаш треба да се утврди причината за оваа разлика. Додека ова не се утврди, не се препорачува користење на новиот софтвер. Се разбира, разликите во резултатите треба да се бараат во моделирањето и во користењето на програмите. Многу ретко, речиси никогаш не се случува проблемот да биде во самиот софтвер.

(3) Параметрите што влијаат на добиените резултати и во кои треба да се бараат причините за разликите во резултатите се следните: усвоени степени на слобода на глобалниот систем и на самите конструктивни (или конечни) елементи, усвоени гранични услови, усвоена геометрија и системски линии, усвојување на пресеците и материјалите, зададено товарење,

дефинирање на масите, дефинирање на товарните случаи и товарните комбинации, дефинирање на методите за анализа на системот и димензионирање на пресеците и т.н.

## 2.1 Степени на слобода и моделирање на граничните услови

(1) Корисникот на софтверот мора да знае кои степени на слобода се вклучуваат во анализата во секој јазел на системот, како и во секој конечен елемент. Во генералните програми базирани на класичниот метод на конечни елементи ова експлицитно може да се контролира, но кај „user-friendly“ програмите наменети исклучиво за проектирање ова може да биде „скриено“. На пример, во некои програми „по дифолт“ се дефинираат гранични услови по линија со земање во предвид само на одредени степени на слобода, а не сите 6 како во генералните програми. Корисникот треба да знае зошто некој степен на слобода е исклучен и како тоа влијае на резултатите и дали тоа моделирање е соодветно за неговиот актуелен случај.

(2) Граничните услови може да се задаваат преку спречување на потребните степени на слобода во соодветните јазли на потпирање, потоа преку дефинирање на определени почетни поместувања и/или ротации, како и преку дефинирање на еластични федери или поврзни елементи на одредени места во системот.

(3) Постојната техничка регулатива не е многу јасна во дефинирањето на граничните услови. Според Правилникот за техничките нормативи за изградба на објекти на вискоградба во сеизмички подрачја од 1981 год. (ПИОВС 81), член 16 се вели дека максималното хоризонтално поместување од сеизмички оптоварувања треба да биде помало од  $H/600$ , а притоа тоа треба да биде определено според теоријата на еластичност и „не земајќи го предвид влијанието на почвата“. Тоа подразбира дека сеизмичката анализа треба да се врши без земање во предвид влијанието на интеракцијата помеѓу почвата и конструкцијата (ИПК), односно дека треба да се земе фиксна основа. Но, не е дефинирано дали ова важи и за определување на тоновите форми и периоди на вибрации, како и за останатата статичка анализа. Меѓутоа, логично е да се претпостави дека најправилен пристап би бил ако системот се третира вклучен во основата при определување на тоновите форми и периоди на вибрации, статичките големини, поместувања и димензионирањето на пресеците на целата конструкција, освен темелите. Ако се знае дека при определувањето на сеизмичките сили веќе е земено влијанието на почвата (преку категорија на почва) тогаш е логично дека ова влијание не треба два пати да се земе со вклучување на ИПК. Од друга страна, темелната конструкција треба секако да се анализира и димензионира со земање во предвид на ИПК. Од ова може да се заклучи дека секогаш е пожелно да постојат два модела: едниот вклучен и без темелна конструкција, а другиот со вклучена темелна конструкција и вклучена ИПК. Вклучувањето на ИПК се врши или по методот на еластичен полупростор (преку модулот на еластичност на почвата  $E_s$  даден во  $\text{kN/m}^2$ ) што се препорачува, или со Винклеров модел на почва со користење на еластични федери кои имаат еквивалентна крутост (добиена преку коефициентот на реакција  $K$  во  $\text{kN/m}^3$ ). Двата параметри  $E_s$  и  $K$  треба да се обезбедат од страна на стручното лице кое го изготвува геомеханичкиот елаборат за соодветниот тип на темелна конструкција и тие треба да бидат образложени во техничкиот извештај на основниот градежно-конструктивен проект.

(4) Корисникот треба да има увид во вистинските гранични услови кои се применуваат при сеизмичката анализа. Треба да се прави разлика помеѓу „вистинските“ гранични услови на системот (вистинското вклучување) и т.н.р. „сеизмичко вклучување“. Вистинското вклучување треба секогаш да биде на ниво на темелната конструкција со спречување на сите 6 степени на слобода (освен ако нема посебна причина да биде поинаку – особено кај челичните и дрвените конструкции кај кои може да се конструираат зглобни потпори). Најправилно е кај сеизмичкото вклучување да се задаваат гранични услови само по хоризонталните поместувања (кои треба да

се спречени) по ободот на системот на усвоеното ниво. Притоа треба да се напомене дека на овие места вертикалната транслација и ниедна ротација не е спречена. Исто така, во внатрешноста на габаритот на ова ниво ниеден степен на слобода не е спречен. Тоа значи дека во суштина тоа и не треба да претставува „вклетување“ туку само спречување на хоризонталните степени на слобода на одреденото ниво по ободот. Во секој програм на различен начин се дефинирани овие вклетувања и затоа корисникот треба да ги знае точно усвоените претпоставки.

**Грешка бр. 3:** *Проектантите избираат соодветно ниво на т.н.р. сеизмичко вклетување (да речеме на ниво 0.00) во однос на кое се добиваат хоризонталните сеизмички поместувања, а потоа дозволеното поместување го пресметуваат во однос на нивото на темелење (да речеме -3.50). Оваа грешка најчесто се јавува како резултат на погрешно користење на соодветните софтверски пакети во кои не се пресметува автоматски дозволеното поместување. Во секој случај, дозволеното поместување и добиеното сеизмичко поместување мора да бидат пресметани за исто ниво на вклетување и за иста висина на објектот.*

## 2.2 Геометрија на системот и системски линии

(1) Во генерален случај, геометријата на системот не треба да отстапува од реалната геометрија на објектот што треба да се конструира.

(2) Многу често се случува во пракса инвеститорите да бараат од проектантите да пресметуваат систем со еден или повеќе катови повеќе од предвидените за евентуална надградба во иднина. Во ваков случај се препорачува анализирање и димензионирање на две конструкции – првата со катност што реално ќе се изгради и втората што ќе се догради во иднина. Притоа, при усвојување на попречниот пресек на арматурата треба да се земе енвелопното влијание од двете анализи.

(3) При моделирањето на објектот што треба да се анализира, важно е да се има на ум дека моделот е само едно идеализирање на дадениот физички објект изложен на надворешни влијанија, така што е важно да се имаат предвид претпоставките и апроксимациите што ги содржи овој модел. Притоа, најважно е да се напомене дека конструкцијата во реалност ќе се однесува онака како што е конструирана, а не онака како што е моделирана и пресметана. Ова да го појасниме со пример на темелна плоча. Ако таа се моделира исклучиво со плочести елементи, по димензионирањето ќе добиеме потребна арматура која е дистрибуирана во плочата на 1 м должен во двата правци. Ако истата плоча потоа се конструира со скриени греди со соодветни узенгии и концентрација на подолжната арматура, тогаш таа нема да работи онака како што е моделирана и пресметувана. Моделот мора да одговара на начинот на конструирањето. Така, во овој случај посоодветен модел ќе биде ако се користи комбинација на гредни и плочести елементи или само на гредни елементи, што би било на страна на сигурноста.

(4) Во контекст на точката (4) од претходното поглавие, треба да се напомене дека нивото на т.н.р. сеизмичко вклетување треба внимателно да биде усвоено. Ако конструкцијата нема крути подрумски АБ платна по ободот, во тој случај секако дека сеизмичкото вклетување треба да биде на ниво на темелната конструкција. Ако се работи за темелна плоча или темелни греди, најправилно е да се земе нивото на системската оска на темелната конструкција како ниво на вклетување. Во генерален случај, нема правило како да се усвои ова вклетување, посебно ако се работи за каскадно темелење. За секој поединечен случај ова треба да биде оставено на логичното расудување на проектантите, секако со потполното разбирање за тоа што значат овие гранични услови, дискутирани во претходното поглавие.

**Грешка бр. 4:** *Проектантите најчесто ја игнорираат дебелината на темелната плоча и нивото на вклетувањето го усвојуваат на горната површина на плочата, наместо на оската на плочата. Ова се одразува неповолно во случајот кога темелната плоча се проектира независно од горната конструкција со рачно нанесување на реакциите од статичката анализа на горната конструкција. Во тој случај хоризонталните реакции генерираат дополнителни моменти кои многу ретко или воопшто не се земаат во предвид од страна на проектантите. За да се спречи ова, најдобро е вклетувањето да се земе на ниво на оската, во кој случај добиените хоризонтални реакции нема да генерираат дополнителни моменти.*

(5) Системските линии е најдобро да се усвојуваат центрично. Тоа значи дека плочите и гредите може да имаат заедничка оска без офсет (крута зона) помеѓу двата пресека. Се разбира дека проектантите можат да усвојат и систем во кој овој офсет се зема во предвид, но тие безусловно мораат да бидат запознати со постапката и методот кој е применет во соодветниот софтвер.

(6) Платната без крајни столбови пожелно е да имаат иста хоризонтална позиција како и гредите над нив (ако воопшто се конструираат), без офсет. Платната со крајни столбови треба да се моделираат со лушпести конечни елементи и гредни елементи поврзани во крајните оски со лушпестите елементи.

### 2.3 Оптоварувања и маси

(1) Се препорачува користење на софтвер со кој на графички начин може да се провери внесеното оптоварување. Покрај тоа, проектантите по извршената анализа задолжително треба да ги споредат добиените реакции со нанесените товари од сите товарни случаи со цел утврдување дали реакциите се во рамнотежа со нанесените оптоварувања.

(2) Без разлика дали масите се пресметуваат рачно или автоматски тие треба задолжително да се проверат споредувајќи ги со добиените реакции од товарните случаи кои учествуваат во формирањето на масите. Масите треба да бидат нанесени најмалку во сите три трансляциони правци, а ако има потреба и во ротационите степени на слобода (што е редок случај).

## 3. АНАЛИЗА НА КОНСТРУКЦИИТЕ

### 3.1 Користење на софтвер за анализа и проектирање на конструкции и методи на анализа

(1) Проектантите имаат слобода при изборот на софтвер со кој ќе ги анализираат и димензионираат конструкциите. Во оваа насока важно е да се напомене дека проектантите треба задолжително да имаат лиценца за користење на софтверот издадена од страна на производителот, со што ќе се создадат услови за негово правилно користење. Софтвер за кој не постои техничка подршка, односно лиценца за користење, не се препорачува да се користи. Исто така, по можност, треба секогаш да се користи последната верзија од софтверот, со оглед на тоа што таа ги содржи сите поправки на увидените грешки и сите најнови опции кои се во склад со најновите научни и ИТ достигнувања, како и промени во техничките нормативи.

(2) Без разлика кој софтвер ќе се избере најважно од сè е, како што е спомнато и на почетокот, корисникот да ги познава основните претпоставки и методи кои се имплементирани во софтверот. Користење на софтвер за кој корисникот нема доволно познавања, не се препорачува за изработка на проектна документација.

(3) Корисникот на софтверот треба да има основни познавања за методите кои се имплементирани во софтверот и тоа посебно за: статичката анализа, сеизмичката анализа, модалната анализа, спектралната анализа, како и за конечните елементи кои се користат при формирање на мрежата, дефинирањето на граничните услови и т.н. Најважно од сè е да знае кои опции се автоматски активирани (по дифолт) и кој е начинот да ги менува овие опции по потреба.

(4) Документирањето на добиените резултати од анализата е една од најважните фази во подготвувањето на проектната документација. Од една страна, внимателно одбраниот излез треба да послужи како контрола на самиот инженер-аналитичар за внесените параметри и добиените резултати, а од друга страна треба да претставува прегледен извештај за моделот и добиените резултати за оној што таа анализа ќе ја контролира (на пр. ревидентот). Во таа смисла, извештај со непотребно испечатени вредности кои не можат или тешко можат да се контролираат само ја оптоваруваат документацијата (на пр. вредности за координатите на јазлите и сл.). Најчесто за подетална проверка на самиот модел може да послужи самиот влезен фајл кој на барање на ревидентот би требало да биде доставен од страна на инженерот-аналитичар. Најдобро е ако извештајот со влезните и излезните параметри биде креиран на графички прегледен начин со читливо испечатени бројки кои не се преклопуваат, од кој може да се провери сè што е потребно.

### 3.2 Тоновни форми и периоди на вибрации, сеизмичка анализа

(1) Како што е и претходно спомнато, тоновите форми и периодите на сопствените слободни вибрации на анализираниот систем со кои треба да се дефинираат сеизмичките сили во основниот градежно-конструктивен проект треба да се пресметуваат на модел вклучен во основата (на ниво на темелење), без влијание на интеракцијата почва-конструкција.

(2) Кога се работи за објект составен од повеќе блокови дилатирани меѓу себе, во тој случај за секој блок треба да се генерира посебен модел за кој ќе се пресметаат тоновите форми и периодите на вибрациите, како и соодветните сеизмички сили. За овој случај, темелната конструкција може или не мора да биде заедничка под сите блокови. Ако е таа заедничка под одредени дилатирани блокови, тогаш таа треба да се пресмета и димензионира дополнително со нанесување на реакциите од соодветните блокови.

(3) Генерално, не постои технички норматив со кој се ограничуваат сопствените периоди на вибрации на анализираниот систем. Меѓутоа, ориентационо, од добиените први периоди во два ортогонални правци може да се заклучи дали објектот поседува доволна крутост или пак е многу флексибилен. Во литературата постојат повеќе изрази за тоа колку треба ориентационо да изнесуваат првите периоди, како критериум за добро проектиран систем. Меѓутоа, она што е исто така важно се и самите тонови форми. Првата тонова форма добиена од 3Д анализата е најважна и таа покажува во кој правец системот е најфлексибилен. При сеизмички влијанија оваа прва тонова форма ќе биде најдоминантна во однесувањето на конструкцијата. Затоа е важно да се избегне торзијата како прва тонова форма, зашто торзионата деформација е најнеповолна и води кон брз и крт лом. Тоновата форма може да се оцени визуелно, а исто така и преку факторите на учество на масите за добиените тонови форми. Ако за еден тон е доминантен факторот на учество само во еден правец (во  $x$  или  $y$ ), тогаш таа тонова форма е чиста за тој правец, а ако за тој тон се јавуваат фактори на учество и во двата правци кои се од ист ред на големина, тогаш се работи за торзиона тонова форма.

(4) При пресметување на сеизмичките сили согласно ПИОВС 81, за сеизмичките сили во x-правец треба да се усвои првата периода чија тонова форма има доминантен фактор на учество во x-правец, а за сеизмичките сили во y-правец треба да се усвои првата периода чија тонова форма има доминантен фактор на учество во y-правец. Ова значи дека торзионите тонови форми не треба да се користат за пресметување на сеизмичките сили.

(5) Системот ќе се однесува најповолно во сеизмички услови ако има слични динамички карактеристики (т.е. слични периоди на сопствени вибрации) во двата разгледувани ортогонални правци. Во колку е оваа разлика поголема, до толку однесувањето ќе биде понеповолно.

(6) За инженерски објекти кои се пресметуваат со користење на спектралната анализа, со оглед на тоа што овој метод користи суперпозиција на тоновите форми, вкупните фактори на учество на масите во тоновите форми за критичните правци треба да изнесува најмалку 90 %.

(7) За конструкции и опрема што се инсталираат на одреден објект на кровна површина или странично-конзолно, на пример, челични антенски конструкции со челични платформи и телекомуникациона опрема, статуи со АБ постаменти и т.н., врските на нивното анкерување со основната конструкција треба задолжително да се провери користејќи го членот 37 од *Правилникот за техничките нормативи за изградба на објекти од високоградбата во сеизмички подрачја од 1981 (ПИОВС 81)*, поради заштита од нивно превртување, односно паѓање што може да предизвика материјална штета или опасност по човечки животи.

(8) При анализа на конструкции кои се наградуваат, најпрвин е потребно јасно да се дефинира системот на постојната конструкција – дали е тој сидан (со полна тула) и со АБ хоризонтални и вертикални серклажи или е скелетен со исполна (која не мора да биде со полна тула). Во првиот случај при анализата треба да се земат во предвид носивите сидови како втегнати со серклажи и притоа ќе треба да се применуваат одредбите од ПИОВС 81 кои се однесуваат за сидани конструкции (од член 89 до член 115). За вториот случај ќе треба да се применуваат одредбите од ПИОВС 81 кои се однесуваат за АБ конструкции и притоа исполната може да се занемари при моделирање на крутоста на системот. Притоа, за приготвување на техничката документација треба да се применуваат одредбите од членот 115а од истиот правилник.

#### 4. ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ И МЕТОДИ НА АНАЛИЗА НА АБ ПРЕСЕЦИ

(1) Софтверот кој се користи може да има автоматски вграден модул за димензионирање на АБ пресеци и елементи според ПБАБ 87. Во тој случај важно е корисникот да знае кои опции за димензионирање се автоматски активирани (дифолт) за да има контрола врз менувањето на овие опции и на целиот процес на димензионирањето.

(2) Ако софтверот кој се користи нема автоматски вграден модул за димензионирање на АБ пресеци и елементи според ПБАБ 87 тогаш проектантот е должен во техничкиот извештај да образложи на кој начин е вршено димензионирањето. Ако димензионирањето е вршено со постојните модули во рамките на користениот софтвер, тогаш треба да се провери дали при анализа на пресеците се користени исти методи и претпоставки кои се дефинирани во ПБАБ 87 (на пример исти работни дијаграми за бетонот и арматурата, ист алгоритам за дефинирање на рамнотежа во пресекот и креирање на интерактивните Mu-Nu дијаграми и сл.) Ова треба да се изложи во техничкиот извештај. Исто така, во овој случај треба да се образложи постапката за узвојување на соодветните парцијални коефициенти за материјали, како и парцијалните коефициенти во товарните комбинации.

(3) Без разлика на кој начин е извршено димензионирањето на пресеците и елементите, во проектната документација е потребно да се наведат основните товарни случаи и товарните

комбинации кои се земени во предвид при димензионирање. Тие треба да бидат во согласност со член 15 од ПИОВС 81 и членовите 79, 80 и 81 од ПБАБ 87.

(4) Сите конструктивни елементи: греди, столбови, платна и плочи треба да бидат димензионирани на енвелопното дејство од товарните комбинации наведени во претходната точка (3) од ова поглавие, вклучувајќи ги товарните комбинации во кои влегуваат и сеизмичките товари. Да истакнеме дека плочите исто така треба да се димензионираат на сите товарни комбинации, без разлика дали се работи за безгредов или гредов систем.

**Грешка бр. 5:** *Често некои проектантите ги димензионираат плочите само со основната товарна комбинација  $1.6g+1.8p$  или одат дури до таму што прават некои непостоечки комбинации како што се  $1.7(g+p)$ . Ова е потполно погрешен пристап. Во ниеден технички норматив не е наведено дека некој конструктивен елемент може да биде димензиониран само на дејство од експлоатационите оптоварувања. Можеби во прирачниците на некои поранешни верзии на софтверски пакети се сугерира користење на интуитивно најверојатната критична комбинација во случајот на димензионирањето на плочите, и тоа само поради подолгото компјутерско потребно време за извршување на оваа анализа, но се разбира со проверка и на други товарни комбинации кои би можеле да бидат критични. Во денешно време на постоењето на брзи компјутери и брзи софтверски алатки е неприфатливо плочите да не се димензионираат на сите товарни комбинации, а со оглед на тоа што често, во случаи со висок интензитет на сеизмика, се добиваат дополнителни и зголемени износи на потребна арматура (дури и во долна зона над потпори) како резултат на комбинациите со сеизмика, кои се сосема физички реални и оправдани ситуации, со оглед на природата на сеизмичките дејства.*

(5) Столбовите треба да се димензионираат со користење на интерактивните  $M_u-N_u$  дијаграми. Може да се користи едноосијалната или биаксијалната метода. Во секој случај, корисникот треба да има основно познавање за тоа што претставуваат и како се конструираат  $M_u-N_u$  дијаграмите и начинот на кој се пресметува потребната арматура. Во однос на дистрибуцијата на арматурата во самиот пресек на столбот, без разлика кој софтвер се користи, досегашното искуство покажа дека најоптимална опција, односно метод, е површината на арматурата поставена на секоја страна да биде во ист однос со соодветната должина на страната каде се поставува.

**(6) Во врска со користење на член 61 од ПИОВС 81 за пресметување на  $s$ -критериумот.** Треба да се напомене дека за време на носењето на правилникот ПИОВС 81 сèуште бил на сила правилникот за бетон и армиран бетон од 1971 година со кој, покрај димензионирање според дозволени напрегања, се дозволува и димензионирање според гранична носивост со примена на дијаграмот за бетон парабола од втор ред (член 95 од ПБАБ 71). Со воведување на новиот правилник ПБАБ од 1987 година, параболата од втор ред се заменува со парабола+права (член 82 од ПБАБ 87). Притоа, пресметковните вредности на јакоста на притисок на бетонот, наместо вредностите дадени со изразот  $0.7\beta_b$  според ПБАБ 71, се заменуваат со вредностите дадени во табела 15, член 82 од ПБАБ 87. Очигледно е дека оваа табела дава пониски (поконзервативни) вредности за пресметковната вредност на јакоста на притисок на бетонот. Така, логично е да се заклучи дека поради оваа промена, во членот 61 од ПИОВС 81 за пресметување на  $s$ -критериумот потребно е за пресметковна вредност на јакоста на притисок да се усвојуваат



вредностите дадени од табелата 15 во член 82 од ПБАБ 87, а не да се користи директно формулата  $0.7\beta_B$  која датира од времето пред воведување на ПБАБ 87.

#### 4.1 Еквиваленција на димензионирање на пресеци на момент и аксијална сила според Еврокод 2 и ПБАБ 87

Во некои програми за анализа и проектирање на АБ конструкции (главно странските) не постои опција за димензионирање на АБ пресеци според ПБАБ 87. Во тој случај, ако постои опција за димензионирање според Еврокод 2, можно е димензионирање со оваа опција, но притоа мора се воспостави еквиваленција со ПБАБ 87, на следниот начин:

(1) Ако во програмот за димензионирање според Еврокод 2 се користи дијаграм на бетон парабола+права, тогаш за усвоена јакост на бетон  $f_{ck}$  треба да се усогласат следните коефициенти:

$$\gamma_c = \alpha_{cc} f_{ck} / f_{cd}$$

каде  $f_{cd} = f_b$  е пресметковна вредност за бетон според Таб. 15 од ПБАБ 87, а  $\alpha_{cc} = 1.0$ . Така, на пример, ако е усвоена МБ 30, тогаш овој коефициент треба да биде  $\gamma_c = 30/20.5 = 1.463$ .

*Треба да се напомене дека генерално  $f_{ck}$  во Еврокод 2 значи јакост на бетон на цилиндер (а не на коцка, како во ПБАБ 87). Но, резултатот ќе биде ист ако за  $f_{ck}$  се стави вредноста како за јакост на коцка, на пример за МБ 30 се стави вредност од 30 МПа, зашто најважно е пресметковната јакост на бетонот  $f_{cd}$  да биде 20.5 МПа. Ова е посебно важно во случај ако во програмот се задава марката на бетонот, а не јакоста на бетонот (на пример ако се избира C25/30, што е еквивалентно на  $f_{ck} = 25$  и  $f_{ck, cube} = 30$ ).*

(2) Ако во програмот за димензионирање според Еврокод 2 се користи дијаграм на бетон - правоаголник, тогаш овој дијаграм може да се користи, но само за пресеци изложени на косо совивање и пресеци чија неутрална оска се наоѓа внатре во пресекот, согласно чл.82 од ПБАБ 87. Тогаш треба да се применат следните коефициенти:  $\eta = \alpha_{cc} = 1.0$  и  $\lambda = 0.8$ .

(3) Коефициентот за челикот треба да се усвои со следната вредност:

$$\gamma_c = 1.00$$

(4) Треба да се напомене дека за столбови димензионирањето може да се спроведе на гореопишаниот начин, но при тоа треба да биде вклучено и влијанието од извивањето (најдобро со претходна статичка анализа од втор ред).

(5) Товарните комбинации треба да бидат во склад со член 79, 80 и 81 од ПБАБ87. Тоа се следните комбинации:

1.  $1.6g + 1.8p$  или  $1.9g + 2.1p$ , во зависност дали  $\epsilon_a$  е поголемо од 3 ‰ или помало од 0 ‰

2.  $1.0g + 1.8p$  или  $1.2g + 2.1p$ , во зависност дали  $\epsilon_a$  е поголемо од 3 ‰ или помало од 0 ‰

3.  $1.3g + 0.65p + 1.3sx$

4.  $1.3g + 0.65p + 1.3sy$

5.  $1.3g + 0.65p - 1.3sx$

6.  $1.3g + 0.65p - 1.3sy$

Ако има индикации дека корисниот товар делува поволно, треба да се додадат следните комбинации:

7.  $1.6g$  или  $1.9g$ , во зависност дали  $\epsilon_a$  е поголемо од 3 ‰ или помало од 0 ‰

8. 1.0g или 1.2 g, во зависност дали  $\epsilon$  е поголемо од 3 ‰ или помало од 0 ‰

Ако има дополнителни товари  $\Delta$ , тогаш се додаваат и комбинациите

9. 1.3g + 1.5p + 1.3  $\Delta$  или 1.5g + 1.8p + 1.5  $\Delta$ , во зависност дали  $\epsilon$  е поголемо од 3 ‰ или помало од 0 ‰

10. 1.0g + 1.5p + 1.3  $\Delta$  или 1.2g + 1.8p + 1.5  $\Delta$ , во зависност дали  $\epsilon$  е поголемо од 3 ‰ или помало од 0 ‰

**Напомена 1:** Бидејќи во овие програми однапред не може да се знае дилатацијата на челикот, најдобро е **за столбови и платна** да се применат и двете типови комбинации (на пример, 1.6g + 1.8p и 1.9g + 2.1p – вкупно ќе има 16 комбинации) и арматурата да се усвои според меродавната (енвелопна) комбинација за секој пресек посебно. **За гредите и плочите** не треба да се применуваат комбинациите со  $\epsilon$  помало од 0 ‰, со оглед на тоа што за овие елементи се очекува арматурата на едниот раб секогаш да биде затегната (и тоа со најмалку 3 ‰ дилатација на затегнување – впрочем, по правило простоармираните пресеци изложени на чисто виткање треба да се димензионираат со дилатација во челикот од 5 или 10 ‰).

**Напомена 2:** Во случај дилатацијата на челикот да се наоѓа помеѓу 0 и 3 ‰, тогаш согласно член 80 од ПБАБ 87, за да се најдат вистинските коефициенти на сигурност, треба да се изврши интерполација (на пример помеѓу 1.6 и 1.9, односно 1.8 и 2.1 за првата комбинација) и да се формира нова товарна комбинација со тие коефициенти на сигурност. Се рабира, ова би бил итеративен процес во кој таа товарна комбинација би се уточнувала. Ако ова се случи во пракса, треба да се најде некое компромисно решение со кое ќе се апроксимира овој случај.

Од причините наведени во двете напомени, во крајна инстанца (ако наведените случаи влијаат значајно на димензионираните пресеци), се препорачува користење на програм за димензионирање според ПБАБ 87 во кој веќе се имплементирани наведените детали.

## 5. ЗАКЛУЧОК

(1) Идејата за создавање на овие „насоки“ е да се поттикнат проектантите на поинакво и пошироко размислување со крајна цел добивање на повалитетна проектна документација. Најнапред им се препорачува детално да ги проучат методите за моделирање и анализа на конструкциите за што постои изобилство од литература, а потоа и детално да ги запознаат софтверските пакети кои ги користат.

(2) Со оглед на тоа што еден од најдобрите начини за напредок и усовршување е учење низ грешките, овој текст постојано ќе се надополнува со новите искуства што доаѓаат.