

- **Средно ниво на повреди** (μ_D)

В случай че се разглежда група от сгради, земетресение с дадена интензивност може да причини различни нива на повреди във всяка една от тях поради специфичното им сеизмично поведение.

Въз основа на хистограмата от нива на повреди, настъпили в група от сгради, е възможно като представителен параметър да се дефинира **средното ниво на повреда** μ_D (the mean damage grade):

$$\mu_D = \sum_{k=0}^5 p_k \cdot k \quad 0 < \mu_D < 5,$$

където p_k е вероятността за съществуване на ниво на повреда D_k ($k=0\div 5$) в групата от сгради.

μ_D е средно ниво на повреда при дискретно разпределение и е в диапазона от 0 до 5. Дефинира се като средна повреда, представяща абциса на хистограмата на повреди.

- **Индекс на повреди** (D_I)

Индексът на повреди може да се изрази чрез икономически термини. Дефинира се като отношение между разходите за възстановяване и себестойността на сградата:

$$D_I = \frac{\text{repair cost}}{\text{building value}} \quad 0 < D_I < 1.$$

- **Индекс на уязвимост** (V_I)

Индексът на уязвимост (V_I) е въведен за количествено определяне принадлежността на сградата към съответен клас на уязвимост. Стойностите му са в интервала от **0** (най-малко уязвима сграда) до **1** (най-силно уязвима). Може да бъде предписан на всяка сграда по наличната информация за типологията и други конструктивни характеристики.

Сгради с конструктивни системи с подобно сеизмично поведение имат еднакъв индекс на уязвимост. Към V_I може да се добави модификатор, отразяващ възможна промяна в сеизмичното поведение:

$$V_I = V_{IVTM} + \Delta V_R + \Delta V_m,$$

където:

- V_{IVTM} – индекс на уязвимост за съответния клас на уязвимост (тип конструктивна система);
- ΔV_R – регионален модификатор, с който се вземат под внимание характеристики на региона или периода на построяване;
- $\Delta V_m = \sum V_m$;

- V_m – параметри за изменение на сеизмичното поведение, отчитащи ниво на поддържане, етажност, наличие на отслабен етаж, нерегулярности в план и височина, надстроени етажи, усилвания, реконструкции, нива на фундиране и др.

- **Класове на уязвимост съгласно EMS-98**

Класовете на уязвимост групират различни типове сгради, характеризиращи се с подобно сеизмично поведение.

EMS-98 дефинира шест класа на уязвимост, означени от А до F и подредени в намаляващ уязвимостта ред. Всеки тип сграда се характеризира с преобладаващ, най-вероятен клас на уязвимост, за който съществува зависимост между сеизмичната интензивност и претърпяната повреда. Възможно е да се дефинира и друг възможен и/или по-малко вероятен клас на уязвимост за един и същи тип сграда при отчитане на конструктивните характеристики, района, в който е построена, и други параметри. Например стоманобетонна сграда, проектирана преди 1987 г. (т.е. по нормите, действащи в този период), би трябвало да бъде в клас D, но ако същият тип сграда е праектирана след 1987 г. – възможният клас на уязвимост е E.

- **Криви на уязвимост**

Методиката за анализ на уязвимостта се основава на дефиниране на криви на уязвимост, които свързват сеизмичната опасност, изразена чрез макросеизмична интензивност I , с повредата, изразена чрез средно ниво на повреда μ_d . Групата от криви на уязвимост, които представляват поведението на всяка една сграда, зависи само от един параметър и това е индексът на уязвимост V_I .

- **Вероятностна матрица на повредите (ВМП) за класовете на уязвимост в скалата EMS-98**

Вероятностните матрици на повредите определят вероятността за поява на някакво ниво на повреди при зададено сеизмично въздействие.

Разпределението на нивата на повреди за група от хомогенни сгради е добре представено чрез биномиално разпределение. То зависи само от един параметър – средно ниво на повреди μ_d , и се определя със зависимостта:

$$PMF: \quad p_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} \left(\frac{\mu_d}{5}\right)^k \left(1 - \frac{\mu_d}{5}\right)^{5-k} \quad 0 < \mu_d < 5$$

където:

- PMF е вероятностна масова функция;
- p_k е вероятност от настъпване на ниво на повреди D_k ($k=0 \div 5$);
- символът ! означава факториел.

• Криви на разрушаване

Кривите на разрушаване показват вероятността за проява при дадена група от сгради на някакви последствия от сеизмичното въздействие (нива на повреди, икономически загуби, разрушени сгради, негодни за експлоатация сгради, загинали хора, бездомни хора) като функция от макросеизмичната интензивност.

2.1.4.4. Дефиниране на вероятностната матрица на повреди за класовете на уязвимост от EMS-98

За изчисляване на непрекъснатата вероятностна матрица на повреди за всеки клас на уязвимост се използва „бета“ разпределение, както следва:

$$PDF: p_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b$$

$$CDF: P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\varepsilon) d\varepsilon$$

където:

- PDF е дискретна „бета“ вероятностна функция;
- CDF е „бета“ комутативна функция на вероятностното разпределение;
- **a, b, t и r** са параметри на разпределението, Γ – „гама“ функция;
- **x** е постоянна променлива, варираща между **a** и **b**.

Параметрите на „бета“ разпределението са свързани със средното ниво на повреда μ_D посредством зависимостта:

$$r = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D)$$

Параметърт **t** се отнася до разсейването на разпределението и при използване на **t=8** „бета“ разпределението изглежда подобно на биномиалното разпределение.

При прилагане на „бета“ разпределение е необходимо да се използва ниво на повреда (НП, **D**), което е дискретна променлива, характеризира се с 5 нива плюс ниво **0** – липса на повреда. Препоръчва се да се присвои стойност **0** на параметъра **a** и стойност **b** на параметъра **b**.

Вероятностната функция с дискретно „бета“ разпределение се изчислява от вероятностите, свързани с нивата на повреди **k** и **k+1** (**k=0,1,2,3,4,5**), както следва:

$$p_k = \int_k^{k+1} p_{\beta}(y) dy = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

2.1.5. Алгоритъм на методиката за оценка на сеизмичната уязвимост

2.1.5.1. Матрица на типологиите сгради (ВТМ)

Първата стъпка в методиката, следвайки принципите, описани по-горе, е дефиниране на матрицата на типологиите сгради, дадена в таблица 1 на Приложение 1. В зависимост от наличната информация всяка сграда се причислява към дадена типология.

2.1.5.2. Матрица с класовете на уязвимост

Втората стъпка е дефиниране на класовете уязвимост (А, В, С, D, Е, F) на сградите с различните типове конструктивни системи, прилагани у нас. За тази цел се използват дефинициите и описанието, дадени в EMS-98.

Важен параметър, който се взема под внимание, е годината на построяване/проектиране на сградите със съответния тип конструктивна система, даващ информация за нивото на сеизмичното осигуряване.

В таблица 3 на Приложение 1 са показани класовете на уязвимост за типовете сгради във функция от годината на построяване/проектиране. За всеки клас на уязвимост за съответната конструктивна система може да бъде направена промяна в съответствие с допълнителна информация (ако е налична) за състоянието към момента на изследването. Възможните изменения на класовете на уязвимост са показани в таблица 4 на Приложение 1.

2.1.5.3. Дефиниране на индекс на уязвимост (V_I)

Третата стъпка е дефиниране на индекс на уязвимост V_I . Избира се експертно при обследване на сградите в даден регион с използване на опита и стойностите, дадени в таблица 5 на Приложение 1. При наличие на по-пълна информация за сградния фонд индексът на уязвимост може да бъде уточнен допълнително.

В методиката се използват индекси на уязвимост, обобщени за съответните класове на уязвимост. В таблица 2.1.5-1 са дадени примерни стойности на индекса на уязвимост за различните класове на уязвимост, които могат да се използват у нас. Всеки клас на уязвимост се дефинира чрез пет различни стойности, най-възможната стойност V_I , границите (V_I^b , V_I^+) на достоверния обхват и границите (V_I^{min} , V_I^{max}) на възможния обхват.

Таблица 2.1.5-1. Представителни стойности на индекса V_I

Клас на уязвимост	Представителни стойности на индекса V_I				
	V_I^{min}	V_I	V_I	V_I^+	V_I^{max}
А	0.78	0.86	0.9	0.94	1.02
В	0.66	0.7	0.74	0.78	0.86
С	0.46	0.54	0.58	0.62	0.7
D	0.3	0.38	0.42	0.46	0.54
Е	0.14	0.22	0.26	0.3	0.38
F	-0.02	0.06	0.1	0.14	0.22

2.2. ТЕХНИЧЕСКА ИНФРАСТРУКТУРА

В следващите текстове се налага многократно позоваване на четири важни литературни източника, които се базират на мащабни проекти и представляват обобщени методологии за оценка на сеизмичната уязвимост и сеизмичния риск. В таблица 2.2-1 са дадени абривиатурите им с цел краткост и яснота на изложението.

Таблица 2.2-1. Използвани абривиатури в текстовете от методиката

Означение	Източник (проект, методология)
HAZUS	HAZUS-MH MR4, Technical Manual, FEMA, 2003, www.fema.gov/plan/prevent/hazus .
SYNER-G	SYNER-G: Systematic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructure Gain, www.syner-g.eu
SRM-LIFE	SRM-LIFE (2003–2007), Development of a global methodology for the vulnerability assessment and risk management of lifelines, infrastructures and critical facilities. Application to the metropolitan area of Thessaloniki. Research Project, General Secretariat for Research and Technology, Greece
ALA	(ALA) American Lifelines Alliance, 2001/2005, Seismic fragility formulation for water systems, Part 1 and Part 2-Appendices

2.2.1. Транспортна инфраструктура

2.2.1.1. Входни данни, събиране и оценка на данните за транспортната инфраструктура

Институциите, където се събират и съхраняват данни за транспортната инфраструктура, са:

- Агенция “Пътна инфраструктура” (АПИ);
- Национална компания “Железопътна инфраструктура” (НКЖИ);
- Областни пътни управления;
- Общини и др.

Мостове

В НКЖИ съществува информация във формат Microsoft Excel за всички 940 мостове по деветте главни жп линии и разклоненията към тях. Информацията съдържа:

- местоположение;
- отвори и обща дължина;
- материал на връхната конструкция;
- тип и статическа схема на връхната конструкция;
- тип влак, за който е проектирана конструкцията;
- години на „генерална ревизия“.

На всеки 5–6 години се прави оглед на мостовете. Констатациите се отразяват в частта „генерална ревизия“ с предписания за ремонт при необходимост.

В Института по пътища и мостове съществува информация във формат Microsoft Excel за пътните мостове и водостоци на автомагистралите и пътищата I, II, III и IV клас, които се поддържат от АПИ. Останалите мостове са на общински пътища.

На посочените по-горе пътища са изградени 40 118 водостоци и общо 3793 моста, от които с обща дължина, по-малка от 20 m – 2242, от 20 до 50 m – 773, и 50 m – 778 моста. За мостовете с дължина над 20 m (1551 бр.) са изготвени технически паспорти. Част от паспорта е т.нар. „фиш за повредите“, описващ състоянието на отделните носещи и неносещи елементи.

За мостовете с липсваща информация е желателно да се изготви даденият по-долу примерен инвентарен опис (чек лист).

ИНВЕНТАРЕН ОПИС ЗА СЪБИРАНЕ НА ДАННИ ЗА МОСТОВЕ

Дата: _____ Мост идентификационен № (ID): _____

ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ:

Име/място на моста:	
Година на изграждане	
Строител, проектант	

ГЕОМЕТРИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Брой на отворите:	
Дължина на отворите (m):	
Обща дължина (m):	
Различна височина на стълбовете – регулярен/нерегулярен	
Ситуация на моста – кос/без косота	
Косота (°)	
Коментари:	

ТЕХНИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

А. ВРЪХНА КОНСТРУКЦИЯ

Тип материал:	
Връзка стълб–връхна конструкция:	
Непрекъснатата конструкция: да/не	
Брой междинни деформационни фуги:	
Коментари:	

Б. ЛАГЕРИ

Тип:	
Подпорна дължина (m):	
Коментари:	

В. СТЪЛБОВЕ

Тип: единична колона/повече от една колона/стена	
Максимална височина (m):	
Тип на фундирането:	
Коментари:	

Г. УСТОИ

Тип:	
Тип на фундирането:	
Коментари:	

ПОЧВА

Описание:	
Коментари:	

Съгласно БДС EN 1998:3:2005 наличната информация съответства на:

- Ниво KL1 (ниво на ограничена информация) – за мостовете без налични конструктивни проекти и документи от изграждането им;
- Ниво KL2 (ниво на средна информация) – за мостовете с налични такива.

За оценка на сеизмичната уязвимост на мостовете с ниво KL1 е необходимо:

- Да се направи т.нар. възпроизвеждащо проектиране (simulated design) според обичайната практика по време на изпълнение на конструкцията.
- Да се извърши обследване на място за критичните елементи и да се проверят получените във възпроизвеждащото проектиране детайли. При липса на съответствие се провежда пълно обследване. Препоръчва се проверка на място на не по-малко от 20 % от конструктивните елементи.
- Механичните характеристики на материалите да се приемат съгласно стандартите, действащи в практиката по времето на изпълнението на конструкцията. Следва да се направят ограничени изпитвания на място за критичните елементи.
- Събраната информация да бъде достатъчна за извършване на проверки за носимоспособност на елементите в определени сечения и за създаване на модел за прилагане на линеен статичен или динамичен анализ.

Прилагат се т.нар. доверителни коефициенти (confidence factor/ **CF**), които са съответно:

- $CF_{KL1}=1.35$;
- $CF_{KL2}=1.20$.

За новопроектирани мостове може да се приеме ниво KL3 (ниво на пълна информация) и съответно $CF_{KL3}=1.00$.

Тунели:

- географско разположение;
- стойности на максималното земно ускорение (PGA) и остатъчното земно преместване (PGD);
- класификация на тунела.

Пътища:

- географско разположение на пътните възли;
- стойности на остатъчното земно преместване (PGD);
- класификация на пътя.

Жп линии:

- географско разположение на жп възли;
- стойности на остатъчното земно преместване (PGD);

2.2.1.2. Класификация за оценка на сеизмичната уязвимост

Мостове

Препоръчва се прилагането на класификацията от проекта HAZUS, като се дефинират 28 класа мостове в зависимост от:

- ниво на сеизмично проектиране;
- брой на отворите;
- статическа схема на връхната конструкция;
- конструктивна система;
- вид на долното строене и/или лагерите.

Класовете мостове са дадени в таблица 1 на Приложение 2. В класификацията са спазени критериите от HAZUS с адаптиране към българската мостова практика при следните приемания:

1. Проектираните преди 2012 г. мостове не са достатъчно надеждни за сеизмични въздействия по следните причини: в периода 1987-2007 г. при проектирането на всички видове мостове се използва коефициент на реагиране $R=0.25$ (коефициент на поведение $q=1/R=4$), съответно за периода 2007-2012 г. $R=0.40$ ($q=2.5$); в нормативните документи, валидни до 2012 г., не са разработени детайли за осигуряване на дуктилно поведение.
2. За условията в България мостовете се разделят на построени в региони с висока степен на сеизмичност (референтно ускорение $a_{gR} \geq 0.23$) и всички останали.

Алтернативно е използването на класификацията от проекта SYNER-G, обхващаща по-голям брой показатели, като освен посочените по-горе включва:

- косота на моста;
- регулярност;
- вид на лагерите;

- тип на фундирането и др.

Класификацията е “отворена” за включване на допълнителни показатели – таблица 2 на Приложение 2.

Тунели

Препоръчва се прилагането на класификацията от проекта HAZUS, като се дефинират два класа тунели в зависимост от начина на изпълнение:

- чрез пробиване (bored/drilled);
- чрез изкопаване и покриване (cut and cover).

Пътища

Препоръчва се прилагането на класификацията от проекта HAZUS, като се дефинират два класа:

- главни пътища;
- пътища в урбанизирани райони.

2.2.1.3. Нива на повреди и разрушения в конструкциите за оценка на сеизмичната уязвимост

Мостове

Дефинират се пет нива на повреди (damage states ds_j , $j=1\div 5$) в зависимост от възможни повреди в компонентите на мостовата конструкция, а именно:

- ds_1 – без повреди;
- ds_2 – леки повреди;
- ds_3 – средни повреди;
- ds_4 – значителни повреди;
- ds_5 – разрушение.

За стоманобетонни мостове съответните нива се характеризират със следните повреди:

A. Ниво ds_2 :

- минимално напукване и разцепване на бетонното покритие на елементите на устоя;
- пукнатини в противоземетръсните буфери (shear keys) при устоите;
- минимално напукване и разцепване в стоманобетонните стави;
- минимално разцепване на бетонното покритие на колоните на стълбовете, т.е. необходимият ремонт е само “козметичен” (cosmetic repair);
- минимални пукнатини в елементи от връхната конструкция (cosmetic repair).

Б. Ниво ds_3 :

- средни пукнатини от срязване и от разцепване, но колоните са със запазена конструктивна носимоспособност;
- средно слягане на устои (по-малко от 5 cm);
- значителни пукнатини и разцепване в противоземетръсните буфери (shear keys);
- значителни разрушения в „сеизмичните връзки“, но без изпадане на конструкцията от опорите;
- средно слягане на насипа зад устоите.

В. Ниво ds_4 :

- всички колони са със значително редуцирана коравина, но без пълно разрушение;
- разрушения от срязване;
- значителни разрушения на сеизмичните връзки;
- значително слягане на насипа зад устоите;
- отклонение на устоя от вертикалната ос;
- значително разрушение на противоземетръсните буфери при устоите (shear keys).

Г. Ниво ds_5 :

- разрушения във всички колони на стълбовете;
- разрушения на сеизмичните връзки, водещи до разрушения във връхната конструкция;
- наклоняване на долното строене поради разрушение на фундаментите.

Преминаването от едно ниво на повреди в друго се нареча праг (threshold) и се определя като гранично състояние. При пет нива на повреди съществуват четири гранични състояния. Възможно е дефиниране на критерии за достигане на четирите гранични състояния в зависимост от елемента на моста (стълб, лагер), за който се определят нивата на повреди.

За стълбовете оценката може да стане чрез:

- хоризонтално преместване (displacement, δ);
- отношението “хоризонтално преместване/ височина на стълба δ/H ”;
- кривина (curvature, φ);
- завъртане (rotation, θ).

В таблица 2.2.1-1 се предлагат критериите за гранично състояние в стълбовете. Индексите “-y” и “-u” се отнасят съответно до пластифициране (yielding) и максимална носимоспособност (ultimate capacity).

Таблица 2.2.1-1. Параметри за определяне на нивата на повреди при стълбове на мостове

Параметър	Ниво на повреда			
	Леки повреди	Средни повреди	Значителни повреди	Пълно разрушение
Хоризонтално преместване, δ	$0.5\delta_u$	$0.6\delta_u$	$0.7\delta_u$	δ_u
Хоризонтално преместване/ височина на стълба, δ/H	0.7%	1.5%	2.5%	5%
Кривина, φ	φ_y	$2\varphi_y$	$4\varphi_y$	$7\varphi_y$
Завъртане, θ	θ_y	$2\theta_y$	$6\theta_y$	$11\theta_y$

Лагерите са особено отговорен елемент на мостовете. Липсва единно мнение за дефиниране на гранични състояния. Решението зависи от производителите, стандартите за проектиране и инженерната оценка. Като показател за гранично състояние е възможно да се използва ъгловата деформация на еластомерните лагери γ , както следва:

- леки повреди – $\gamma=1$;
- средни повреди – $\gamma=1.5$;
- значителни повреди – $\gamma=2$;
- пълно разрушение – $\gamma=2.5$.

В методологията SYNER-G се използват две основни гранични състояния:

- пластифициране (yielding);
- крайно (ultimate, near collapse).

В този случай нивата на повредите са три. Методологията е отворена и дава възможност на ползвателя да дефинира и повече от три нива.

В световната практика съществува и друг начин за определяне на нивата на повредите на мостовите конструкции – чрез т.нар. нива на функционалност, представляващи възможностите за използване на моста след земетресение. Вариантите са два.

При първия вариант се дефинират три нива на функционалност, а именно:

- нормална експлоатация (full service);
- ограничена експлоатация (emergency traffic) – движение само на специални превозни средства (Спешна помощ, Гражданска защита, Противопожарна охрана и др.);
- забрана за движение по моста (closed).

В табл. 2.2.1-2 е определена връзката между (Lehman et al., 2004):

- нивото на функционалност;
- повредите;
- възстановителните мерки.

Таблица 2.2.1-2. Дефиниране на три нива на функционалност

Функционалност	Повреди	Мерки за възстановяване
Нормална експлоатация (Full service)	Минимални: напр. пукнатини с размер на косъм (hairline cracks)	Локално инжектиране на епоксиден разтвор
Ограничена експлоатация – движение само на специални превозни средства (Limited service) (emergency traffic)	Средни: по-широко отворени пукнатини, разцепване на бетонно покритие	Инжектиране на епоксиден разтвор, ремонт на бетона, напр. торкретиране
Забрана за движение по моста (Closed)	Значителни: изкълчване на армировка, скъсване на пръти, смачкване на бетона	Подмяна на повредените сечения

При втория вариант се определят пет нива на функционалност (Maskie, Stojadinovic, 2006), дадени в табл. 2.2.1-3. Този вариант се счита за по-удобен, тъй като се използва „загуба на носеща способност за хоризонтални и вертикални въздействия“, която може да се определи аналитично.

Таблица 2.2.1-3. Дефиниране на пет нива на функционалност

Ниво на функционалност	Остатъчен капацитет за движение (%)	Загуба на носимоспособност за хоризонтални въздействия (%)	Загуба на носимоспособност за вертикални въздействия (%)
Без прекъсване на движението (Immediate access)	100	<2	<5
Движение с ограничение на теглото (Weight restriction)	75	<5	<20
Възможно движение само в една лента (One lane open only)	50	<15	<35
Движение само на специални превозни средства Emergency access only)	25	<25	<50
Забрана за движение по моста (Closed)	0	>25	>50

Тунели

За тунели нивата се характеризират със следните повреди:

А. Ниво ds_2 :

- минимално напукване на облицовката (повредите изискват само козметично възстановяване);
- падане или свличане на ограничено количество скална/земна маса;
- минимално слягане на земната основа в двата края на тунела.

Б. Ниво ds_3 :

- средно напукване на облицовката;
- падане или свличане на скална/земна маса.

В. Ниво ds_4 :

- значително напукване на облицовката;
- значително слягане на земната основа в двата края на тунела.

Г. Ниво ds_5 :

- тотално напукване на облицовката, с възможност за пълно разрушение;

Пътища

За пътища нивата се характеризират със следните повреди:

А. Ниво ds_2 :

- минимално слягане (няколко сантиметра) или преместване на основата на пътя.

Б. Ниво ds_3 :

- средно слягане (няколко сантиметра) или преместване на основата на пътя.

В. Ниво ds_4 :

- значително слягане (няколко десетки сантиметра) или преместване на основата на пътя.

Г. Ниво ds_5 :

- много голямо слягане (десетки сантиметра) или преместване на основата на пътя.

Жп линии

За жп линии нивата се характеризират със следните повреди:

А. Ниво ds_2 :

- потенциално минимално (локално) дерайлиране, дължащо се на леко слягане на насипа или преместване на земната основа.

Б. Ниво ds_3 :

- потенциално значително дерайлиране, дължащо се на слягане на насипа или преместване на земната основа, линията се нуждае от ремонт.

В. Ниво ds_4 и ds_5 :

- значително слягане на земната основа и потенциално дерайлиране по цялата дължина на линията.

2.2.1.4. Оценка на сеизмичната уязвимост

Мостове

Основният подход за оценка на сеизмичната уязвимост на мостовете е чрез т.нар. функции (криви) на уязвимост, представляващи вероятността мостовата конструкция да получи определено ниво на повреди при дадено ниво на сеизмичното въздействие.

Като вероятностни функции техни основни параметри са:

- медианна стойност;
- стандартно отклонение.

За практически цели се прилагат два основни подхода:

1. Използване на налични криви за уязвимост от литературни източници. Следва да се изберат внимателно в зависимост от конструктивната класификация на моста. Поради това, че у нас няма налична база данни за криви на уязвимост за мостове, препоръчва се да се използват тези от проектите HAZUS и SINER-G.
2. Създаване на криви на уязвимост за конкретен мост. При използване на т.нар. аналитични методи последователността е следната:
 - Дефиниране на граничните състояния за моста, респ. нива на повреди;
 - Определяне на характеристиките на материалите. За съществуващ мост това може да се направи чрез изпитване и определяне на нивото на информация;
 - Определяне на детайлите в конструкцията на моста и основното количество на армировката в опорите. При липса на проекти се провежда т.нар. възпроизвеждащо проектиране по нормите, валидни за периода на строителство;
 - Създаване на модел за компютърен сеизмичен анализ на моста. Определяне на медианните стойности за съответните гранични състояния;
 - Определяне на вероятностите мостовата конструкция да получи определено ниво на повреди.

Тунели

За оценка на уязвимостта на тунелите се прилагат вероятностни функции за повреди в зависимост от PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания). В методологията HAZUS са дадени и ориентировъчни дискретни функции за възстановяване след земетресение. За пътни тунели стойностите са дадени в таблица 2.2.1-4, а за жп тунели – в таблица 2.2.1-5.

Таблица 2.2.1-4. Функции за възстановяване на пътни тунели в зависимост от нивото на повреди

Период за възстановяване (дни)	Функционална годност в проценти			
	Леки повреди	Умерени повреди	Значителни повреди	Разрушение
1	90	25	5	0
3	100	65	8	3
7	100	100	10	3
30	100	100	30	5
90	100	100	95	15

Таблица 2.2.1-5. Функции за възстановяване на жп тунели в зависимост от нивото на повреди

Ниво на повреда	1 ден	3 дни	7 дни	30 дни	90 дни
	Функционална годност в проценти				
Леки	95	100	100	100	100
Умерени	16	38	85	100	100
Значителни	11	13	16	40	97
Разрушение	3	4	4	7	22

Пътища

За оценка на уязвимостта на пътищата се прилагат вероятностни функции за повреди в зависимост от PGD (остатъчни премествания). В методологията HAZUS са дадени и ориентировъчни дискретни функции за възстановяване след земетресение – табл. 2.2.1-6.

Таблица 2.2.1-6. Функции за възстановяване на пътища в зависимост от нивото на повреди

Период за възстановяване (дни)	Функционална годност в проценти		
	Леки повреди	Умерени повреди	Значителни/Разрушение
1	90	25	10
3	100	65	14
7	100	100	20
30	100	100	70
90	100	100	100

Жп линии

За оценка на уязвимостта на жп линии се прилагат вероятностни функции за повреди в зависимост от PGD (остатъчни премествания). В методологията HAZUS са дадени и ориентировъчни дискретни функции за възстановяване след земетресение (табл. 2.2.1-7).

Таблица 2.2.1-7. Функции за възстановяване на жп линии в зависимост от нивото на повреди

Ниво на повреда	1 ден	3 дни	7 дни	30 дни	90 дни
	Функционална годност в проценти				
Леки	90	100	100	100	100
Умерени	22	46	90	100	100
Значителни	14	18	28	87	100
Разрушение	6	8	10	22	70

2.2.2. Техническа инфраструктура за питейна и отпадъчна вода

2.2.2.1. Входни данни за елементите на техническата инфраструктура за питейна и отпадъчна вода

Необходимите входни данни за провеждане на анализ на ниво оценка на уязвимостта (директни физически повреди и разрушения) на компонентите на системите за питейна и отпадъчна вода са:

За пречиствателни станции за питейна вода:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- капацитет: малка/ средна/ голяма;
- анкерирани/неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично проектирани или стандартно проектирани подкомпоненти);
- подкомпоненти: електрозахранване, наличност на резервно захранване електрооборудване, оборудване за хлориране, утаители, коагулация, басейни, химически резервоари, тръбни схеми и напречни профили, филтрационни галерии;
- типология на сградата, в която се помещават съответните подкомпоненти;
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За помпени станции за питейна вода:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;

- капацитет: малка/ средна/ голяма;
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично проектирани или стандартно проектирани подкомпоненти);
- подкомпоненти: електрозахранване, наличност на резервно захранване, оборудване, вертикални/ хоризонтални помпи;
- типология на сградата, в която се помещават съответните подкомпоненти.
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За резервоари:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- отворени, затворени; тип на покрива (ст.б., стомана, дърво);
- тип на материала: дърво, стомана, бетон, зидария;
- капацитет: малки, средни, големи;
- анкерирани (да/не);
- разположение (наземни, повдигнати на колони или рамки, подземни); тип конструкция (повдигнат на колони, наземен директно върху терена, на бетонни пилоти);
- сеизмично проектиране (да/не);
- наличие на входно/изходни странични тръби;
- обем (височина, диаметър); дебелина на стените;
- оперативна функционалност (пълен, почти пълен, почти непълен).
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично проектирани или стандартно проектирани подкомпоненти);
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За кладенци за питейна вода:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти: електрозахранване, електрооборудване, помпа за кладенец;
- стойност на съоръжение, сграда.

За пречиствателни станции за отпадъчна вода:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- капацитет на станцията: малка/ средна/ голяма;
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично проектирани или стандартно проектирани подкомпоненти);

- подкомпоненти: електрозахранване, електрооборудване, оборудване за хлориране, утаители, химически резервоари, открити тръбопроводи;
- типология на сградата, в която се помещават съответните подкомпоненти.
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За помпени станции за отпадъчна вода:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- класификация;
- капацитет на станцията: малка/ средна/ голяма;
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично проектирани или стандартно проектирани подкомпоненти)
- подкомпоненти: електрозахранване, наличност на резервно захранване, оборудване, вертикални/ хоризонтални помпи;
- типология на сградата, в която се помещават съответните подкомпоненти;
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За тръбопроводи:

- географски координати на крайните точки на линейните участъци (дължина, ширина);
- PGV (максимална земна скорост) и PGD (остатъчни премествания) – карти с разпределение;
- класификация;
- местоположение (вкопани, надземни);
- тип (непрекъснати, сегментирани);
- материал/тип/якост (стомана, PVC, PEHD, азбестоцимент, чугун, бетон, каменинови);
- тип на връзките (корави, еластични);
- капацитет; налягане;
- геометрия (дебелина на стените, диаметър);
- тип покритие и облицовка; дълбочина; клонове, тройници, разгъвка;
- корозия, агресивна среда; възраст/година на полагане;
- стойност.

За канали:

- географски координати на крайните точки на линейните участъци (дължина, ширина);
- PGV (максимална земна скорост) и PGD (остатъчни премествания) – карти с разпределение;
- изкопан и отворен способ или пробити;

- усилен, неусилен облицовки или необлицовани диги;
- материал (дърво стомана, бетон); местоположение на разклонения, отклонения; възраст на конструкцията; геометрични характеристики (ширина, дълбочина, капацитет); напречно сечение (правоъгълно, трапец и т.н.); наклон.

2.2.2.2. Класификация на елементите на системите за питейна и отпадъчна вода

Класификацията на елементите на системите за питейна и отпадъчна вода се основава на данните, които се събират за провеждане на анализ на ниво оценка на уязвимостта (директни физическо повреди и разрушения). Основен етап е определяне на това дали компонентите и подкомпонентите са анкерирани, или не, т.е. дали техните опори и самите компоненти са проектирани за сеизмични въздействия. Оценката обикновено се извършва от обучени специалисти въз основа на огледи или провеждане на анализ за сеизмично квалифициране на съответния компонент. Класификациите на елементите на системите за питейна и отпадъчна вода от проект *SYNER-G* и *HAZUS* са подобни, но в тази на *SYNER-G* има допълнителни подкомпоненти, необходими за провеждане на системен анализ на по-високо ниво. Различията са предимно за подземните тръбопроводи. Възможно е използването и на двете класификации.

Таблица 2.2.2-1. Класификация за водоснабдителната система в *SYNER-G*

Елемент	Категория	Класификация /Подкомпоненти
Водоизточници	Извори Реки Естествени езера Язовири Кладенци: Плитки/Дълбоки;	Анкерирани/ неанкерирани компоненти Електрозахранване, електрооборудване, помпа за кладенец, Сграда
Пречиствателни станции за питейни води	Големина: Малки, Средни, Големи	Анкерирани/ неанкерирани компоненти Електрозахранване, електрооборудване, оборудване за хлориране, Утаители, Коагулация, Басейни, Химически резервоари, Тръбни схеми и напречни профили, Филтрационни галерии
Помпени станции	Големина: Малки, Средни, Големи	Анкерирани/ неанкерирани компоненти Електрозахранване, оборудване, вертикални/ хоризонтални помпи, сграда
Резервоари за съхранение	Затворени Отворени	Тип на материала (дърво, стомана, бетон, зидария); Капацитет (малки, средни, големи); Анкерирание (да/не); Разположение (наземни, повдигнати на колони или рамки); Тип на покрива (ст.б. стомана, дърво); Сеизмично проектиране (да/не); Тип конструкция (повдигнат на колони, наземен директно върху терена, на бетонни пилоти); Наличие на входно/изходни странични тръби;

МЕТОДИКА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ
РИСК НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

		Обем (височина, диаметър); Дебелина; Оперативна функционалност (пълнен, почти пълен, непълен).
Тръбопроводи		Местоположение (вкопани, надземни); Тип (непрекъснати, сегментирани); Материал/Тип/Якост (дуктилно желязо, стомана, PVC, PE, RTM, азбестоцимент, чугун, бетон, каменинови); Тип на връзките (корави, еластични); Капацитет (диаметър); Геометрия (дебелина на стените); Тип покритие и облицовка; Дълбочина; Клонове, тройници, разгъвка; Корозия, агресивна среда; Възраст; Налягане.
Тунели		Технология на строителство, система на облицоване, геоложки условия.
Канали	Изкопан и отворен способ или пробити; Усилени, неусилени облицовки или необлицовани диги	Материал (дърво стомана, бетон); Местоположение на разклонения, отклонения; Възраст на конструкцията; Геометрични характеристики (ширина, дълбочина, капацитет); Напречно сечение (правоъгълно, трапец и т.н.); Наклон.
SCADA система	Система за контрол и събиране на данни	

Таблица 2.2.2-2. Класификация за системата за отпадъчна вода в SYNER-G

Елемент	Категория	Класификация /Подкомпоненти
Пречиствателни станции за отпадъчни води	Големина: Малки, Средни, Големи	Анкерирани/ неанкерирани компоненти Електрозахранване, електрооборудване, оборудване за хлориране, Утаители, Химически резервоари, Открити тръбопроводи; Сграда
Помпени станции	Големина: Малки, Средни, Големи	Анкерирани/ неанкерирани компоненти Електрозахранване, оборудване, вертикални/ хоризонтални помпи, сграда
Тръбопроводи	Същото като при водопроводи за питейна вода	
Тунели	Същото като при водопроводи за питейна вода	
SCADA система	Система за контрол и събиране на данни	

**МЕТОДИКА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ
РИСК НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

*Таблица 2.2.2-3. Класификация на съоръженията за питейна вода съгласно
методиката на HAZUS*

Означение	Описание
	Тръбопроводи
PWP1	Крежки тръби
PWP2	Дуктилни тръби
	Помпени станции
PPPL	Големи помпени станции
PPPM	Средни помпени станции
PPPS	Малки помпени станции
	Кладенци
PWE	Кладенци
	Резервоари
PSTAS	Надземни стоманени резервоари
PSTBC	Вкопани бетонни резервоари
PSTGC	Наземни бетонни резервоари
PSTGS	Наземни стоманени резервоари
PSTGW	Наземни дървени резервоари
	Пречиствателни станции
PWTL	Големи пречиствателни станции „различни комбинации в зависимост от това дали имат, или нямат анкерирани компоненти“
PWTM	Средни пречиствателни станции „различни комбинации в зависимост от това дали имат, или нямат анкерирани компоненти“
PWTS	Малки пречиствателни станции „различни комбинации в зависимост от това дали имат, или нямат анкерирани компоненти“

*Таблица 2.2.2-4. Класификация на съоръженията за отпадъчна вода съгласно
методиката на HAZUS*

Означение	Описание
	Тръбопроводи
WWP1	Крежки тръби
WWP2	Дуктилни тръби
	Помпени станции
WLSL	Големи помпени станции
WLSM	Средни помпени станции
WLSS	Малки помпени станции
	Пречиствателни станции
WWTL	Големи пречиствателни станции „различни комбинации в зависимост от това дали имат, или нямат анкерирани компоненти“
WWTM	Средни пречиствателни станции „различни комбинации в зависимост от това дали имат, или нямат анкерирани компоненти“
WWTS	Малки пречиствателни станции „различни комбинации в зависимост от това дали имат, или нямат анкерирани компоненти“

Тръбите, които основно се ползват у нас в системите за питейна и отпадъчна вода, се класифицират съгласно методологията HAZUS по следния начин (табл. 2.2.2-5).

Таблица 2.2.2-5. Класификация съгласно методологията HAZUS на най-масово употребяваните тръби у нас от системите за питейна и отпадъчна вода

Вид материал на тръбата	Класификация съгласно методология HAZUS
Азбестоциментови тръби	Крежки
Чугунени тръби	Крежки
Бетонени тръби	Крежки
Стоманени тръби	Дуктилни (ако са с електродъгови заварки) Крежки (ако са с газови заварки)
Тръби от неръждаема стомана	Дуктилни
Поцинковани тръби	Дуктилни
Полиетиленови тръби, PE	Дуктилни
Тръби от поливинилхлорид, PVC	Дуктилни

2.2.2.3. Нива на повреди на елементите на системата за питейна и отпадъчна вода

Съгласно HAZUS са дефинирани пет степени на повреди за всички компоненти на системата за питейна вода, както следва: без повреди (ds_1), леки/незначителни повреди (ds_2), умерени повреди (ds_3), значителни повреди (ds_4), пълно разрушение (ds_5).

Леки/ незначителни повреди (ds_2):

- **За пречиствателни станции** ds_2 се дефинира с нарушена работа за кратко време (по-малко от три денонощия) в резултат на прекъсване на електрозахранването и на резервното захранване, ако има такова, значителни повреди на различни видове оборудване, леки повреди на басейните за утаяване, леки повреди на резервоарите за хлориране или леки повреди на химическите резервоари. Може да настъпи загуба на качеството на водата.
- **За помпени станции** ds_2 се дефинира с нарушена работа за кратко време (по-малко от три денонощия) в резултат на прекъсване на електрозахранването и на резервното захранване, ако има такова, или леки повреди на сградата.
- **За кладенци** ds_2 се дефинира с нарушена работа на помпата на кладенеца и на мотора за кратко време (по-малко от три денонощия) в резултат на прекъсване на електрозахранването и на резервното захранване, ако има такова, или леки повреди на сградата.

- **За резервоари за съхранение на вода** ds_2 се дефинира с леки повреди без загуба на съдържанието му или на функционалността му. Незначителни повреди на покрива на резервоара в резултат на плискането на водата, незначителни пукнатини в бетоновите резервоари или локални набраздявания в стоманените резервоари.

Умерени повреди (ds_3):

- **За пречиствателни станции** ds_3 се дефинира с нарушена работа за около една седмица в резултат на прекъсване на електрозахранването и на резервното захранване, ако има такова, значителни повреди на различни видове оборудване, сериозни повреди на басейните за утаяване, сериозни повреди на резервоарите за хлориране без загуба на съдържанието им или сериозни повреди на химическите резервоари. Вероятна е загуба на качеството на водата.
- **За помпени станции** ds_3 се дефинира с прекъсване на електрозахранването за около една седмица, значителни повреди на механичното и електрооборудването или умерени повреди на сградите.
- **За кладенци** ds_3 се дефинира с нарушена работа на помпата и мотора за около една седмица в резултат на прекъсване на електрозахранването и на резервното захранване, ако има такова, значителни повреди на механичното и електрооборудването или умерени повреди на сградите.
- **За резервоари за съхранение на вода** ds_3 се дефинира със сериозни повреди на резервоара и незначителна загуба на съдържанието му. Деформиране/ изкълчване тип „слонска стъпка“ (elephant foot buckling) на стоманените резервоари без загуба на съдържанието им или умерени пукнатини в бетоновите резервоари с незначителни загуби на съдържанието им.

Значителни повреди (ds_4):

- **За пречиствателни станции** ds_4 се дефинира със сериозни повреди на тръбите, свързващи различните басейни и химически единици. Този тип повреди е вероятно да доведе до спиране работата на станцията.
- **За помпени станции** ds_4 се дефинира със значителни повреди на сградите или тежки, непоправими повреди на помпите.
- **За кладенци** ds_4 се дефинира със значителни повреди на сградата или помпата на кладенеца и с тежко деформирана/ изкривена вертикална шахта и невъзможност да обслужва кладенеца.
- **За резервоари за съхранение на вода** ds_4 се дефинира със сериозни повреди на резервоара, който не може да функционира. Стоманените резервоари са с изкълчване тип „слонска стъпка“ и загуба на съдържание,

разтваряне на обрамчването на дървените резервоари или срязване на стените на бетоновите резервоари.

Пълно разрушение (ds_5):

- **За пречиствателни станции** ds_5 се дефинира с пълно разрушаване на всички тръби или сериозни повреди на филтърните галерии.
- **За помпени станции** ds_5 се дефинира с пълно разрушение на сградата.
- **За кладенци** ds_5 се дефинира с пълно разрушение на сградата.
- **За резервоари за съхранение на вода** ds_5 се дефинира с пълно разрушение на резервоара и загуба на цялото съдържание.

За наземни стоманобетонни резервоари в документите на ALA са описани възможни повреди (състояния на повреди), съответно за анкерирани (табл. 2.2.2-ба) и за неанкериани (табл. 2.2.2-бб) резервоари. За всяко състояние е посочено дали при настъпване на съответната повреда резервоарът може да продължи да функционира.

Таблица 2.2.2-ба. Състояния на повреди на наземните ст.б. резервоари без анкериране (от разпространение на вълни) съгласно ALA

Състояние на повреда	Способност за обслужване
Повдигане на стената – смачкване на бетона	Не функционира
Напукване или срязване на стената на резервоара	
Приплъзване на резервоара	
Прекалено високи пръстеновидни напрежения	Функционира

Таблица 2.2.2-бб. Състояния на повреди на наземните ст.б. резервоари с анкериране (от разпространение на вълни) съгласно ALA

Състояние на повреда	Способност за обслужване
Напукване или срязване на стената на резервоара	Загуба на съдържанието. Не функционира
Повреда на покрива	Няма загуби на съдържание. Функционира
Повдигане на стената – смачкване на бетона	Слаб теч. Функционира
Приплъзване на резервоара	Слаб теч. Функционира
Прекалено високи пръстеновидни напрежения	Загуба на съдържанието. Не функционира
Леко високи пръстенни напрежения	Слаб теч. Функционира

Дефиниране на степените на повреди на тръбопроводите съгласно HAZUS

За тръбопроводите степените на повреди са: без повреди; протичане; скъсване. Протичането се свързва с параметъра на земетръсното въздействие максимална скорост на движението на земната среда (PGV). Повредите настъпват от разпространението на сеизмичните вълни. Типът на повредите е изтръгване на

тръбите във връзките им, смачкване на муфата, а скъсването се асоциира с геоложката опасност или с параметъра остатъчни деформации в земната среда (PGD). В методологията на HAZUS е възприето, че повредите, които настъпват в тръбопроводите от преминаване на сеизмичните вълни, причиняват 80 % течове и 20 % скъсване на тръбите, а от остатъчните премествания в земната среда се причиняват 20 % течове и 80 % скъсвания.

Степените на повреди за всички елементи на системата за отпадъчна вода, както и тръбопроводите, са идентични с тези за питейна вода съгласно HAZUS: без повреди (ds_1), леки/ незначителни повреди (ds_2), умерени повреди (ds_3), значителни повреди (ds_4), пълно разрушение (ds_5) и за тръбите брой повреди/km.

Леки/ незначителни повреди (ds_2):

- *За пречиствателни станции* ds_2 се дефинира идентично, както за пречиствателните станции за питейна вода.
- *За помпени станции* ds_2 се дефинира идентично, както за помпените станции за питейна вода.

Умерени повреди (ds_3):

- *За пречиствателни станции* ds_3 се дефинира идентично, както за пречиствателните станции за питейна вода.
- *За помпени станции* ds_3 дефинира идентично, както за помпените станции за питейна вода.

Значителни повреди (ds_4):

- *За пречиствателни станции* ds_4 се дефинира идентично, както за пречиствателните станции за питейна вода.
- *За помпени станции* ds_4 се дефинира идентично, както за помпените станции за питейна вода.

Пълно разрушение (ds_5):

- *За пречиствателни станции* ds_5 се дефинира идентично, както за пречиствателните станции за питейна вода.
- *За помпени станции* ds_5 се дефинира с пълно разрушение на сградата, идентично, както за помпените станции за питейна вода.

Колекторни канали, дюкери, тръби

За тръбопроводите повредите са: протичане; скъсване. Типични за тези елементи са повреди в резултат на остатъчните премествания на земната среда. Приема се, че 80 % от повредите са скъсване, а 20 % са протичане. Протичането се свързва с параметъра на земетръсното въздействие максимална скорост на

движението на земната среда (PGV). Повредите настъпват от разпространението на сеизмичните вълни. Типът им е изтръгване на тръбите в свързването им, смачкване на муфата. В методологията на HAZUS е възприето, че повредите, които настъпват в тръбопроводите от преминаване на сеизмичните вълни, причиняват 80 % течове и 20 % скъсване на тръбите.

2.2.2.4. Оценка на уязвимостта на елементите на системата за питейна и отпадъчна вода

За оценка на уязвимостта на елементите на системите за питейна и отпадъчна вода се прилагат вероятностни функции на повреди, в много случаи дефинирани чрез емпирични и хибридни методи. За оценка на уязвимостта на елементите на системите за питейна и отпадъчна вода могат да се ползват кривите на повреди, предложени в HAZUS, SYNER-G или ALA.

2.2.3. Техническа инфраструктура за газоснабдяване

2.2.3.1. Входни данни за елементите на техническата инфраструктура за газоснабдяване

Компресорните станции и тръбопроводите са основните компоненти на системите за газоснабдяване, за които има обща типология и криви на повреди в методологията на HAZUS. Поради разнообразието и спецификата на някои елементи на газоснабдителните системи (например, измервателни и редуциращи станции) в европейския контекст в много случаи не могат да бъдат присъединени към общата типология на компресорните/ помпените станции. Елементите на газоснабдителните системи са специфични за различни райони на Европа и класификацията им невинаги може да се сведе до единна обща класификация, което трябва да се вземе под внимание при прилагане на настоящата методика. При липса на специфични данни може да се ползва процедурата на HAZUS за първоначална ориентировъчна оценка на повредите в компресорните станции.

Необходимите входни данни, съгласно методологията HAZUS, за провеждане на анализ на ниво оценка на уязвимостта (директни физически повреди и разрушения) на компонентите на системите за газоснабдяване са:

За компресорни станции:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично проектирани или стандартно проектирани подкомпоненти);
- типология на сградата, в която се помещават съответните компоненти;
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За газопроводи:

- географски координати на крайните точки на линейните участъци (дължина, ширина);
- PGV (максимална земна скорост) и PGD (остатъчни премествания) карти с разпределение;
- местоположение (подземни, надземни);
- тип (непрекъснати, сегментирани);
- материал/ тип/ якост (стомана, PVC, PEHD);
- тип на връзките (корави, еластични);
- капацитет; налягане;
- геометрия (дебелина на стените, диаметър);
- корозия, агресивна среда; възраст/ година на полагане.

2.2.3.2. Класификация

Класификацията на компресорните станции за газоснабдяване се основава главно на начина на проектиране, дали компонентите и подкомпонентите са анкерирани, или не, т.е. дали техните опори и самият компонент са проектирани за сизмични въздействия. Оценката обикновено се извършва от обучени специалисти въз основа на огледи или чрез провеждане на анализ за сизмично квалифициране. Необходима е и типологията на сградата, което определя възможността да се ползват функциите на повреди за станциите, предложени в гръцкия проект SMR-LIFE, и да се разработят функции на повреди, специфични за компресорните станции у нас.

2.2.3.3. Нива на повреди

Състоянията на повредите, които описват нивото на повреди на всеки компонент от системата за газоснабдяване, са дефинирани като: без повреди (ds_1), леки/ незначителни повреди (ds_2), умерени повреди (ds_3), значителни повреди (ds_4), пълно разрушение (ds_5) за компресорни станции плюс брой ремонтни дейности/km за газопроводи.

За компресорни станции:

- **Леки /незначителни повреди (ds_2):** ds_2 се дефинира с леки/незначителни повреди на сградата.
- **Умерени повреди (ds_3):** ds_3 се дефинира със значителни повреди на механичното и електрооборудването или значими повреди на сградата.
- **Значителни повреди (ds_4):** ds_4 се дефинира с тежки повреди на сградата или тежка повреда на помпите, които не могат да се отремонтират.
- **Пълно разрушение (ds_5):** ds_5 се дефинира с пълно разрушение на сградата.

За газопроводи:

За тръбопроводите са дефинирани две нива на повреди: протичане и скъсване. При нарушения в земната среда (геоложки риск) най-вероятната повреда в тръбопровода е скъсване. При преминаване на сеизмичните вълни повредата е локално изкълчване на стената на тръбата. Възприето е, че при от преминаване на сеизмични вълни повредите са 80 % протичане и 20 % скъсване. При нарушения в земната среда повредите са 20 % протичане и 80 % скъсване. Методологията дава възможност тези проценти да бъдат променени.

2.2.3.4. Оценка на уязвимостта

За оценка на уязвимостта на елементите на системите за газоснабдяване се прилагат вероятностни функции на повреди в зависимост от PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката на станциите. За газопроводите оценката се изразява чрез брой на аварииите/ремонти за линеен километър от тръбопровода във функция на PGV и PGD. За оценка на уязвимостта на елементите на газоснабдителната система могат да се ползват кривите на повреди, предложени в HAZUS, SMR-LIFE и SYNER-G, или да се разработят функции, специфични за компресорните станции у нас, в зависимост от типологията на станциите по начин, подобен на този, приложен в проект SMR-LIFE.

2.2.4. Техническа инфраструктура за електроснабдяване

2.2.4.1. Входни данни за елементите на техническата инфраструктура за електроснабдяване

Компонентите на системите за електроснабдяване са разпределителни и трансформаторни подстанции, електроцентрали и разпределителни мрежи.

Необходимите входни данни за провеждане на анализ на ниво оценка на уязвимостта (директни физически повреди и разрушения) на компонентите на системите за електроснабдяване са:

За подстанции:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания) за площадката;
- анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично или стандартно проектирани подкомпоненти);
- волтаж (нисък, среден, висок);
- типология на сградата, в която се помещават съответните компоненти;
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

За разпределителните мрежи:

- географски координати на съоръженията (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение);
- класификация: анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично или стандартно проектирани подкомпоненти).

За електроцентралите:

- географски координати (дължина, ширина);
- PGA (максимално земно ускорение);
- класификация: малки или средни/големи; анкерирани/ неанкерирани подкомпоненти (т.е. сеизмично или стандартно проектирани подкомпоненти);
- стойност на компонентите, съоръжения, сгради.

2.2.4.2. Класификация

Електроцентралите се считат за критични съоръжения. Изследват се индивидуално и не могат да са обект на тази методология. Данните за класификацията им, изброени по-горе, могат да се ползват само за първоначална ориентировъчна оценка на възможните повреди, следвайки процедурата, изложена в методологията HAZUS.

В методологията SYNER-G подстанциите са моделирани чрез макро- и микрокомпоненти. Такава класификация може да се ползва и за системен анализ. Последователността на свързване на макро- и микрокомпонентите, характерни за подстанциите в България, могат да бъдат разработени от експерти за тази система.

Оценката на компонентите на системите за електроснабдяване дали са анкерирани, или не (при прилагане на класификацията съгласно HAZUS), дали опорите и самият компонент са проектирани за сеизмични въздействия се извършва от обучени специалисти въз основа на огледи или чрез провеждане на анализ за сеизмично квалифициране.

В таблица 2.2.2-7 е дадена класификация на системите за електроснабдяване съгласно HAZUS.

Таблица 2.2.2-7. Класификация на системата за електроснабдяване съгласно методологията HAZUS

Означение	Описание
	Подстанции
ESSL	Подстанции нисък волтаж (115 KV) (различни комбинации в зависимост от това дали компонентите са анкерирани, или не са анкерирани)
ESSM	Подстанции среден волтаж (215 KV) (различни комбинации в

	зависимост от това дали компонентите са анкерирани, или не са анкерирани)
ESSH	Подстанции висок волтаж (500 KV) (различни комбинации в зависимост от това дали компонентите са анкерирани, или не са анкерирани)
	Разпределителни мрежи
EDC	Разпределителни мрежи (със сеизмично проектирани подкомпоненти или със стандартно проектиране)
	Електроцентрали
EPPL/M	Големи и средни (>200 MW) (различни комбинации в зависимост от това дали компонентите са анкерирани, или не са анкерирани)
EPPS	Малки (<200 MW) (различни комбинации в зависимост от това дали компонентите са анкерирани, или не са анкерирани)

2.2.4.3. Нива на повреди

За компонентите на системите за електроснабдяване са дефинирани общо пет степени на повреди: без повреди (ds_1); леки/ незначителни повреди (ds_2); умерени повреди (ds_3); значителни повреди (ds_4); пълно разрушение (ds_5).

За системите за електроснабдяване, по-специално за подстанциите и разпределителните мрежи, степените на повреда се дефинират по отношение на процента на повредените подкомпоненти. Това означава, че за подстанция с n_1 трансформатори, n_2 автоматични изключватели, n_3 мрежови прекъсвачи и n_4 токови трансформатори се дефинира, че тя е с леки или незначителни повреди, ако 5 % от n_2 или 5 % от n_3 са повредени, и е в състояние на значителни повреди, ако 70 % от n_2 , 70 % от n_3 са повредени или ако сградата е със значителни повреди. Параметрично изследване на стойностите n_1 , n_2 , n_3 и n_4 показва, че медианите на степените на повреди, дефинирани по този начин, не се променят значително (по-малко от 3 %), тъй като с нарастване на n_i съответните дисперсии намаляват. Поради това в HAZUS са използвани дисперсии, получени от малък брой на повредите и сравнително постоянните стойности за медианите.

Леки/ незначителни повреди (ds_2):

- **За подстанции** ds_2 се дефинира с 5 % повредени автоматични прекъсвачи или 5 % повредени мрежови прекъсвачи, или незначителни повреди на сградата.
- **За разпределителни мрежи** ds_2 се дефинира с разрушаване на 4 % от всички мрежи.
- **За електроцентрали** ds_2 се дефинира като аварийно спиране на турбината или лека повреда на дизел генератора, или незначителни повреди на сградата.

Умерени повреди (ds₃):

- *За подстанции ds₃* се дефинира с повреди на 40 % от прекъсвачите или 40 % повредени мрежови прекъсвачи, или 40 % повредени електротоклови трансформатори, или умерени повреди на сградата.
- *За разпределителни мрежи ds₃* се дефинира с разрушаване на 12 % от мрежите.
- *За електроцентрали ds₃* се дефинира с тракане на инструментални/апаратни табла и етажерки, значителни повреди на котли и съдове под налягане или умерени повреди на сградата.

Значителни повреди (ds₄):

- *За подстанции ds₄* се дефинира с повреди на 70 % от прекъсвачите, със 70 % повредени мрежови прекъсвачи или 70 % повредени електротоклови трансформатори, или 70 % повредени трансформатори (протичане на радиаторите), или със значителни повреди на сградата.
- *За разпределителни мрежи ds₄* се дефинира с разрушаване на 50 % от мрежите.
- *За електроцентрали ds₄* се дефинира със значителни повреди в помпите или значителни повреди в големи вертикални помпи, или значителни повреди на сградата.

Пълно разрушение (ds₅):

- *За подстанции ds₅* се дефинира с повреда на всички прекъсвачи или всички мрежови прекъсвачи, или всички електротрансформатори, всички трансформатори, или сградата е в състояние на степен на пълно разрушение.
- *За разпределителни мрежи ds₅* се дефинира с разрушаване на 80 % от мрежите.
- *За електроцентрали ds₅* се дефинира с много големи повреди на големи хоризонтални съдове с невъзможност за ремонтване, много големи повреди на големи електрозадвижки или пълно разрушение на сградата.

2.2.4.4. Оценка на уязвимостта

За оценка на уязвимостта на елементите на системите за електронабдяване се прилагат вероятностни функции за повреди. Възможно е да се използват кривите на повреди, предложени в HAZUS и SYNER-G.

ЧАСТ 3. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК

3.1 СЕИЗМИЧЕН РИСК ЗА СГРАДНИЯ ФОНД

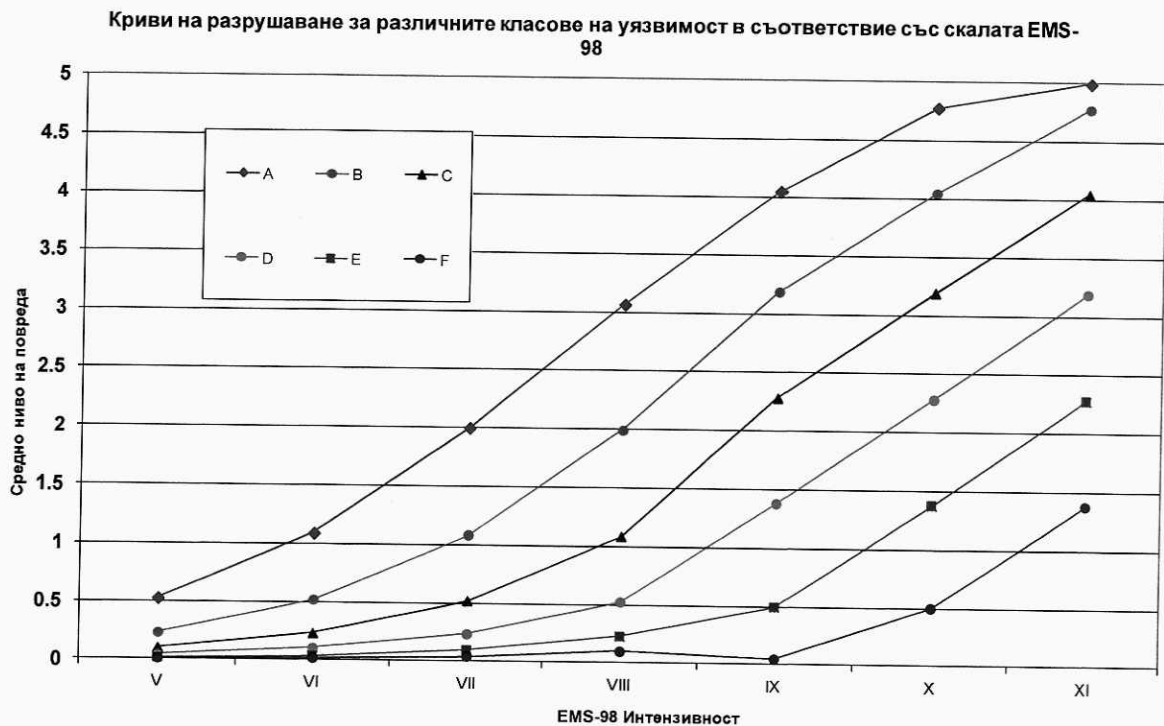
3.1.1. Оценка на директните повреди и разрушения на сградния фонд

3.1.1.1 Определяне на средното ниво на повреда μ_D за различните класове на уязвимост

В настоящата методика се използва аналитичен израз, който дефинира средното ниво на повреда μ_D като функция на макросеизмичната интензивност I и индекса на уязвимост V_I (предварително дефиниран на база експертна оценка за всеки тип конструктивна система):

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh\left(\frac{I + 6.25 \cdot V_I - 13.1}{2.3}\right) \right]$$

В таблица 6 на Приложение 1 са дадени стойностите на μ_D за различните класове на уязвимост. На фигура 3.1.1-1 са показани кривите на разрушаване чрез средните нива на повреди за различните класове на уязвимост.



Фигура 3.1.1-1. Разпределение на средното ниво на повреди μ_D за различните класове на уязвимост

3.1.1.2 Определяне на разпределението на нивата на повреди за различните класове на уязвимост

След като е дефинирано средното ниво на повреда μ_D , чрез „бета“ разпределение на дискретна вероятностна функция е възможно да се оцени статистическото разпределение на нивата на повреди за група от сгради или вероятността отделната сграда от групата сгради да притежава някакво ниво на повреда. В таблици 7–12 на Приложение 1 са представени параметрите на разпределение на повредите за различните класове на уязвимост при различни сеизмични интензивности.

3.1.1.3 Определяне на кривите на разрушаване

Друг подход за представяне на уязвимостта на сградата е чрез кривите на разрушаване. Те изразяват вероятността очакваната повреда на конструкцията да надхвърли фиксирано ниво на повреда по време на сеизмичното въздействие:

$$P(D \geq D_k) = \sum_{j=k}^5 p_j$$

където: p_j е вероятността, свързана с ниво на повреда j ($j=0,1,2,3,4,5$); D отговаря на $НП_k$.

Кривите на разрушаване за дадено ниво на повреда може да бъдат получени в аналитична форма и са дадени директно от кумулативното вероятностно „бета“ разпределение:

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_\beta(k)$$

На фигури 1–6 на Приложение 1 са дадени най-вероятните криви на разрушаване за различните класове на уязвимост чрез нивата на повреди и сеизмичните интензивности.

3.1.1.4 Резюме на процедурата за определяне на повредите

Процедурата за определяне на повредите, описана по-горе, може да се резюмира в следните стъпки:

Стъпка 1 – Избор (определяне) на индекса на уязвимост V_I

$$V_I = V_{\text{ВТМ}} + \Delta V_R + \Delta V_m,$$

където $\Delta V_m = \Sigma V_m$.

Стъпка 2 – Определяне на средното ниво на повреда μ_D

Средното ниво на повреда се определя от индекса на уязвимост V_I за сградите от матрицата на типологиите сгради ВТМ и макросеизмичната интензивност I чрез зависимостта

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh\left(\frac{I + 6.25.V_I - 13.1}{2.3}\right) \right]$$

Стъпка 3 – Определяне на разпределението на повредите

(Вероятностна матрица на повреди и криви на разрушаване)

$$PDF: p_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b$$

$$CDF: P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$a = 0; \quad b = 6; \quad t = 8 \quad \text{и}$$

$$r = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D)$$

Вероятностна функция с дискретно „бета“ разпределение се изчислява от вероятностите, свързани с нивата на повреди k и $k+1$ ($k=0,1,2,3,4,5$), както следва:

$$p_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

Кривите на разрушаване, дефиниращи вероятността за достигане или надхвърляне на някакво ниво на повреда, се получават директно от комутативното вероятностно „бета“ разпределение:

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_{\beta}(k)$$

3.1.2. Оценка на жертвите и ранените

За определяне броя на жертвите вследствие на конструктивни повреди (K_{sb}) се прилага следната зависимост:

$$K_{sb} = TC_b \times [M_1 \times M_2 \times M_3 \times (M_4 + M_5(1-M_4))],$$

където:

- TC_b – общ брой на разрушените сгради от тип b ;
- M_1 – коефициент, отчитащ регионалните изменения на броя на живущите в сграда;
- M_2 – коефициент, отчитащ промените в броя на обитателите в зависимост от времето през денонощието;
- M_3 – коефициент, отчитащ процента на затрупаните обитатели под развалините на разрушените сгради;
- M_4 – коефициент, отчитащ различните степени на ранимост (увреждане) на затрупаните хора;
- M_5 – коефициент, отчитащ промяната на степените на ранимост на затрупаните хора с течение на времето.



1. Селскостопански сгради $M_2 = 45\%$
2. Жилищни сгради в градовете $M_2 = 65\%$
3. Нежилищни сгради в градовете $M_2 = 40\%$

Фигура 3.1.2-1. Изменение на коефициента M_2 – процент живущи в сградите през различни часове на денонощието (Coburn, Spence, 2002)

Таблица 3.1.2-1. Коефициент M_3 за зидани и ст.б. конструкции

Разрушени сгради със зидария (до 3 етажа)				
Интензивност	VII 5%	VIII 30%	IX 60%	X 70%
Разрушени сгради със ст.б. конструкция (3-5 етажа)				
Близки до епицентъра, високочестотни земетресения			70%	
Отдалечени, дългопериодични земетресения			50%	

Таблица 3.1.2-2. Коефициент M_4 за зидани и ст.б. конструкции

Категория ранени	Зидария	Стоманобетон
Леко ранени (S1)/ Малки наранявания*	20%	10%
Ранени, нуждаещи се от болнично лечение (S2)/ Сериозни наранявания*	30%	40%
Тежко ранени (S3)/ Тежки наранявания*	30%	10%
Загинали или неспасяемо ранени (S4)	20%	40%

* Класификация съгласно „Указания за разработването и готовността за изпълнението на плановете за защита при бедствия от 2017 г.“, приети от Съвета за намаляване на риска от бедствия към МС на Р. България

Таблица 3.1.2-3. Коефициент M_5 за зидани и ст.б. конструкции

Ситуация	Зидария	Стоманобетон
Ниво 1 Общината е недееспособна поради високата степен на жертвите	95%	-
Ниво 2 Общината е в състояние да организира спасителна дейност	60%	90%
Ниво 3 Общината + аварийните отряди след 12 часа	50%	80%
Ниво 4 Общината + аварийните отряди + експерти след 36 часа	45%	70%

В проекта RISK-UE е направена модификация на два от параметрите, а именно:

- TC_b е заменен от TC – площ, съответстваща на разгънатата застроена площ на сградите, понесли дадено ниво на повреди;
- M_1 е коефициент, отчитащ броя на живущите на единица площ от засегнатите сгради.

Този подход се оказва по-удобен за работа, поради което се препоръчва за използване в настоящата методика.

3.1.3. Оценка на икономическите загуби вследствие на директните физически повреди и разрушения

Икономическите загуби вследствие на директните физически повреди и разрушения могат да бъдат оценявани чрез вероятностните матрици на повреди. В действителност данните, събрани чрез оценка на повредите в спешни случаи (след някои земетресения), могат да бъдат съотнесени към загубите. Резултатът е обобщен в таблица 3.1.3-1.

Таблица 3.1.3-1. Корелация между разпределението на повредите и ефектите върху сградите и хората

Сгради	неизползваеми	40% от сградите с ниво на повреда 3 + 100 % от сградите с ниво на повреда 4 и 5
	разрушени	сгради с ниво на повреда 5
Хора	без дом	100% от живущите в неизползваемите сгради - жертви и тежко ранени
	жертви и тежко ранени	30% от обитаващите разрушените сгради

За да се определи икономическият индекс на повреди DI за група от сгради, който представлява отношението между общите разходи за възстановяване и стойността на всички сгради в групата, може да се използва корелация със средното ниво на повреда μ_D .

При използване на дискретно „бета“ разпределение (с $t=8$) се получават представителни стойности:

$$D_I(\mu_D) = \sum_{k=0}^5 p_k(\mu_D) D_{Ik}$$

които са систематизирани в таблица 3.1.3-2.

Таблица 3.1.3-2. Представителни стойности за DI за различните нива на повреди

Ниво на повреда	0	1	2	3	4	5
DI	0	0.01	0.1	0.4	0.8	1

3.2. СЕИЗМИЧЕН РИСК ЗА ТЕХНИЧЕСКАТА ИНФРАСТРУКТУРА

3.2.1. Оценка на директните повреди и разрушенията на транспортната инфраструктура

3.2.1.1. Преки и непреки загуби

Разрушенията и повредите след станало земетресение водят до загуби, които се дефинират като:

- преки загуби (direct losses);
- непреки загуби (indirect losses).

И двете групи представляват социално-икономически загуби.

Към преките (директни) загуби се отнасят:

- брой загинали и брой тежко пострадали – социални загуби;
- необходим разходи за възстановяване на пострадалите съоръжения – икономически загуби.

Към непреките загуби могат да се отнесат:

- загуби от прекъснат трафик за транспортната система;
- загуби от отклонен трафик;
- загуби в другите отрасли на икономиката поради липса или забавяне на доставки и суровини.

Между двете групи загуби съществува пряка връзка. Така например, при отклоняване на движението по обходен път с по-малка пропускливост (непряка загуба) е възможно да възникнат пътнотранспортни произшествия с жертви (преки загуби). Разрушаването на мост може да прекъсне за дълъг период от време важна пътна комуникация, необходима за движението на хора и/или стоки, което може да доведе до нови жертви.

3.2.1.2. Оценка на директните загуби съгласно HAZUS

В HAZUS са предложени методи за оценка на повредите и загубите. Ръководството за използване на методиката (Technical Manual) е достъпно на сайта на FEMA www.fema.gov/plan/prevent/hazus.

Основни особености и ограничения в приложението на методиката:

1. Използва се основно за оценка на загубите за отделен обект. За група от подобни обекти получените резултати следва да се приемат като „средни“.
2. При земетресения с малък магнитуд ($M \leq 6$) определените загуби е възможно да се окажат преувеличени за случаите на гъсто населени градски райони.

3. За оценка на елементи от транспортната инфраструктура точността зависи от наличните данни.

Методологията HAZUS е гъвкава и позволява ползвателят да избира различни методи за оценка на риска в зависимост от необходимата степен на точност, ограниченията в бюджета и практическите цели.

Препоръчват се три типа анализи съобразно достъпните данни:

1. Липса на входни данни (Default Data Analysis) – използват се каталожни данни, оценката е приблизителна, необходимо време – от 1 седмица до 1 месец.
2. Данни, осигурени от ползвателя (User-Supplied Data Analysis) – най-често използваният анализ, изисква участие на консултанти, необходимо време – от 1 до 6 месеца.
3. Прилагане на съвременни модели и данни (Advanced Data and Models Analysis) – използват се съответстващите на модела методи, изисква участие на технически експерти и подробни данни от техническите служби, необходимо време – от 6 месеца до 2 години.

3.2.1.3. Подход за оценка на директните загуби при мостове

Оценката на директните загуби се извършва в следната последователност:

1. Избира се групата мостове, за които се определят загубите – таблица 1 на Приложение 2. Приема се, че мостовете, проектирани след м. март 2012 г. с влизане в сила на Наредба № РД-02-20-2 за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, са с по-висока степен на осигуреност вследствие прилагането на европейските стандарти.
2. Определя се броят на мостовете, които подлежат на анализ (за избраната група), глобално за страната, за община, лот от магистрала, жп направление и др.
3. При голям брой обекти се прави представителна извадка (около 20 %), равномерно разпределена по зони на сеизмичност.
4. За всеки избран мост от групата се провежда дадената по-долу процедура за определяне на директните загуби. За улеснение на ползвателите на методиката е представен числен пример.
5. Директните загуби за групата се обобщават на основата на получените резултати за отделните мостове.

3.2.1.4. Алгоритъм на методиката за оценка на директните загуби при мостове

1. Изходни данни:

- Географско местоположение, съответно максималното земно ускорение (PGA-Peak Ground Acceleration) за района;
- Клас на почвата. При липса на данни се приема клас D или по препоръка на инженер-геолог. Методиката е невалидна при класове E, S₁ и S₂. В тези случаи се изисква специална геотехническа оценка;
- Клас на моста – таблица 1 на Приложение 2;
- Брой на отворите;
- Косота (ако има такава). Определя се с ъгълът α между оста на стълба и нормалата към оста на моста.

2. Определяне на спектралните ускорения при периоди 0.3 s и 1.0 s, съответно Sa(0.3) и Sa(1.0). При отсъствие на данни за спектралните ускорения (като изход от оценката на сеизмичната опасност) се използва от БДС EN 1998-1/NA Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 1: Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради (т. 3.2.2.2). Стойностите за коефициента S за вида на почвата се заместват с корекционни коефициенти F_{Ai} за почвен клас I=A,B,C и D, дадени в таблица 3 на Приложение – 2 (прието е S=1).

3. Изчисляване на коефициентите, отчитащи:

- Косотата – $K_{skew} = \sqrt{\sin(90-\alpha)}$;
- Формата на моста – $K_{shape} = 2.5 Sa(1.0) / Sa(0.3)$;
- Пространствения (3D) характер на конструкцията – K_{3D} . Определя се според класа на моста по формулите, дадени в таблица 4 на Приложение 2.

4. Определяне на стандартните медианни стойности за съответния клас на моста – SMV (standard median value) (таблица 5 на Приложение 2). Коригираните медианни стойности се означават с NMV (new median value). Корекцията е в зависимост от нивото на повреди, както следва:

A. За ниво „леки повреди“ (ds₂)

Изчислява се корекционен коефициент C, равен на:

- 1.0 при $I_{shape}=0$;
- $\min(1, K_{shape})$ при $I_{shape}=1$.

I_{shape} е Булев оператор със стойности 0 и 1 за привеждане на случаите на мостове с малки периоди на свободни трептения към еквивалентна спектрална амплитуда за период T=1 s. Стойностите на I_{shape} за класовете мостове са дадени в таблица 4 на Приложение 2.

Коригираната (нова) медианна стойност се определя по формулата:

$$NMV(ds_1) = SMV(ds_1)C.$$

Б. За всички останали нива на повреди новата медианна стойност е:

$$NMV(ds_j) = SMV(ds_j)K_{skew}K_{3D}.$$

5. Построяване на “функциите (кривите) на уязвимост” $P[D_s \geq ds_j]$ чрез новата медианна стойност за всяко ниво на повреди и прието стандартно отклонение $\beta=0.60$. Определяне на вероятностите $P[D_s \geq ds_j / PGA_i (PGV_i)]$ с използване на еквивалентно PGA_i , определено по една от формулите:

$$PGA_i = PGA.F_{Ai}$$

$$PGA_i = PGA.F_{Vi},$$

където $i=A, B, C, D$ е класът на почвата.

Изборът на формула зависи от използваните каталожни медианни стойности. В таблица 5 на Приложение 2 медианните стойности са за $Sa(T=1.0)$. В този случай се използва еквивалентното максимално почвено ускорение, определено с F_{Vi} за $Sa(1.0)$ (таблица 3 на Приложение 2).

6. Определяне на директните загуби за моста чрез отношението “разходи за ремонт/ разходи за изграждане на нов мост” (damage ratio/ DR). За различните нива на повреди (j) стойностите на DR_j за пътни и жп мостове са дадени в таблица 6 на Приложение 2.

Комплексното отношение DR_C за целия мост се определя като:

$$DR_C = \sum DR_j P_j, \text{ за } j = 2 \div 5.$$

Вероятностите P_j се определят по формулите:

$$P_1 = P[D_s = ds_1 / PGA] = 1 - P[D_s \geq ds_2 / PGA];$$

$$P_2 = P[D_s = ds_2 / PGA] = P[D_s \geq ds_2 / PGA] - P[D_s \geq ds_3 / PGA];$$

$$P_3 = P[D_s = ds_3 / PGA] = P[D_s \geq ds_3 / PGA] - P[D_s \geq ds_4 / PGA];$$

$$P_4 = P[D_s = ds_4 / PGA] = P[D_s \geq ds_4 / PGA] - P[D_s \geq ds_5 / PGA];$$

$$P_5 = P[D_s = ds_5 / PGA] = P[D_s \geq ds_5 / PGA].$$

Приема се предпоставката, че разходите за изграждане на моста към момента на анализа е известна. Разходите за ремонт (директните загуби) се получават чрез умножаване на разходите за изграждане на моста с комплексното отношение DR_C .

7. Директните загуби за отделните мостове се обобщават за съответната група.

В настоящата методика се оценяват директните загуби, причинени от земетръсното въздействие, представено чрез PGA (максимално земно ускорение) за приет период на повтораемост.

3.2.1.5. Тунели

За оценка на повредите на тунелите се прилагат вероятностни функции за повреди в зависимост от PGA (максимално земно ускорение) и PGD (остатъчни премествания).

Медианите и дисперсиите на функциите за повреди са дадени в таблица 3.2.1-1.

Таблица 3.2.1-1. Функции за повреди за тунели (HAZUS)

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Пробити тунели	Леки/ Незначителни	0.6	0.6
	Умерени	0.8	0.6
Изкопани и покрити тунели	Леки/ Незначителни	0.5	0.6
	Умерени	0.7	0.6
Остатъчно преместване (PGD)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (in/cm)	β
Пробити тунели	Леки/ Умерени	6/15.24	0.7
	Значителни	12/30.48	0.5
	Пълно разрушение	60/152.4	0.5
Изкопани и покрити тунели	Леки/ Умерени	6/15.24	0.7
	Значителни	12/30.48	0.5
	Пълно разрушение	60/152.4	0.5

За определяне на директните загуби (за единица дължина) за тунелите се използва отношението „разходи за възстановяване на облицовката/разходи за изграждане“ (damage ratio /DR). За отделните нива на повреди (j) стойностите на DR_j са дадени в табл. 3.2.1-2.

Таблица 3.2.1-2. Стойности на DR за тунели (HAZUS)

Класификация	Степен на повреда	DR (best estimate)	Граници на изменение на DR
Облицовка на тунела	Леки	0.01	0.01 – 0.15
	Умерени	0.30	0.15 – 0.4
	Значителни	0.70	0.4 – 0.8
	Пълно разрушение	1.00	0.8 – 1.0

3.2.1.6. Пътища

За оценка на повредите на пътищата се прилагат вероятностни функции за повреди в зависимост PGD (остатъчни премествания).

Медианите и дисперсиите на функциите за повреди са дадени в таблица 3.2.1-3.

Таблица 3.2.1-3. Функции за повреди за пътища (HAZUS)

Остатъчно преместване (PGD)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (in/cm)	β
Главни пътища	Леки/ Умерени	12/30.48	0.7
	Значителни	24/60.96	0.7
	Пълно разрушение	60/152.4	0.7
Пътища в урбанизирани райони	Леки/ Умерени	6/15.24	0.7
	Значителни	12/30.48	0.7
	Пълно разрушение	24/60.96	0.7

За определяне на директните загуби (за единица дължина) за пътищата се използва отношението „разходи за възстановяване на пътя / разходи за изграждане“ (damage ratio/ DR). За отделните нива на повреди (j) стойностите на DR_j са дадени в таблица 3.2.1-4.

Таблица 3.2.1-4. Стойности на DR за пътища (HAZUS)

Класификация	Степен на повреда	DR (best estimate)	Граници на изменение на DR
Пътища	Леки	0.05	0.01 – 0.15
	Умерени	0.20	0.15 – 0.4
	Значителни / Пълно разрушение	0.70	0.4 – 1.0

3.2.1.7. Жп линии

За оценка на повредите на жп линии се прилагат вероятностни функции за повреди в зависимост PGD (остатъчни премествания).

Медианите и дисперсиите на функциите за повреди са същите, както тези за пътищата, дадени в таблица 3.2.1-3.

За определяне на директните загуби (за единица дължина) за жп линии се използва отношението „разходи за възстановяване на линията / разходи за изграждане“ (damage ratio/ DR). За отделните нива на повреди (j) стойностите на DR_j са същите, както при пътищата, и са дадени в таблица 3.2.1-4.

3.2.2. Оценка на директните повреди и разрушения на техническата инфраструктура – комунални системи (питейна и отпадъчна вода, газоснабдяване, електроснабдяване)

3.2.2.1. Оценка на директните физически повреди и разрушения на системите за питейна и отпадъчна вода

За оценка на повредите и разрушенията на елементите на системите за питейна и отпадъчна вода се прилагат вероятностни функции на повреди, в много случаи дефинирани чрез емпирични и хибридни методи. За оценка на уязвимостта могат да се използват кривите на повреди, предложени в HAZUS и SMR-LIFE/SYNER-G. Изборът е в зависимост от типологията на оценяваната строителна конструкция като компонент на системата, начина на анкериране на компонентите и наличието на резервно хранване. В случай че класификациите съответстват на тези от SMR-LIFE/ SYNER-G, се препоръчва да се ползват функциите на повреди от този проект. В останалите случаи алтернатива са функциите от HAZUS или разработването на оригинални функции, подходящи за условията в България.

За наземните ст.б. неанкерирани и анкерирани резервоари се препоръчва използването на кривите за повреди съгласно ALA. Уязвимостта на стоманените и дървените резервоари може да се определи от кривите за повреди от HAZUS.

За подземните тръбопроводи се използват два алгоритъма за определяне на повредите, свързани съответно с максималната земна скорост (PGV) и постоянната/ остатъчна земна деформация (PGD). За оценка на уязвимостта се препоръчва използването алгоритмите по HAZUS и ALA. Уязвимостта на каналите, дължаща се на разпространение на сеизмични вълни и остатъчни земни премествания, може да бъде оценена въз основа на процедурата в ALA, която е единствената налична.

Методологията HAZUS предлага опростен подход за оценка поведението на системата непосредствено след сеизмичното събитие, приложим за бърза оценка на остатъчната ефективност.

3.2.2.1.1. Функции за повреди за компонентите на системите за питейна вода съгласно методологията HAZUS

Функциите за повреди, дължащи се на остатъчни премествания (PGD) за всички компоненти на системите за питейна вода, с изключение на тръбопроводи, (т.е. пречиствателни и помпени станции, кладенци и резервоари) се приемат, както за сградите.

Функции за повреди за пречиствателни станции за питейна вода от
максимално земно ускорение (PGA)

Функциите за повреди за пречиствателните станции за питейна вода в зависимост от PGA (общо 24 броя) са разработени в съответствие с тяхната класификация – по 12 броя за станции с анкерирани и неанкерирани подкомпоненти. Медианите и дисперсиите са дадени в таблици 3.2.2-1 – 3.2.2-3.

Таблица 3.2.2-1. Функции за повреди за малки пречиствателни станции за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Станции със сеизмично проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.25	0.50
	Умерени	0.38	0.50
	Значителни	0.53	0.60
	Пълно разрушение	0.83	0.60
Станции със стандартно проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.16	0.40
	Умерени	0.27	0.40
	Значителни	0.53	0.60
	Пълно разрушение	0.83	0.60

Таблица 3.2.2-2. Функции за повреди за средни пречиствателни станции за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Станции със сеизмично проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.37	0.40
	Умерени	0.52	0.40
	Значителни	0.73	0.50
	Пълно разрушение	1.28	0.50
Станции със стандартно проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.20	0.40
	Умерени	0.35	0.40
	Значителни	0.75	0.50
	Пълно разрушение	1.28	0.50

Таблица 3.2.2-3. Функции за повреди за големи пречиствателни станции за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Станции със сеизмично проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.44	0.40
	Умерени	0.58	0.40
	Значителни	0.87	0.45
	Пълно разрушение	1.57	0.45
Станции със стандартно проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.22	0.40
	Умерени	0.35	0.40
	Значителни	0.87	0.45
	Пълно разрушение	1.57	0.45

Функции за повреди за помпени станции за питейна вода от максимално земно ускорение (PGA)

Функциите за повреди за помпени станции за питейна вода в зависимост от PGA (общо 16 броя) са разработени в съответствие с тяхната класификация – по 8 броя за станции с анкерирани и неанкерирани подкомпоненти. Медианите и дисперсиите са дадени в таблици 3.2.2-4 и 3.2.2-5. В HAZUS са дадени и параметрите на функциите на повреди за подкомпонентите.

Таблица 3.2.2-4. Функции за повреди за малки помпени станции за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Станции със сеизмично проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.15	0.70
	Умерени	0.36	0.65
	Значителни	0.66	0.65
	Пълно разрушение	1.50	0.80
Станции със стандартно проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.13	0.60
	Умерени	0.28	0.50
	Значителни	0.66	0.65
	Пълно разрушение	1.50	0.80

Таблица 3.2.2-5. Функции за повреди за средни/големи помпени станции за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Станции със сеизмично проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.15	0.75
	Умерени	0.36	0.65
	Значителни	0.77	0.65
	Пълно разрушение	1.50	0.80
Станции със стандартно проектирани подкомпоненти	Леки/ Незначителни	0.13	0.60
	Умерени	0.28	0.50
	Значителни	0.77	0.65
	Пълно разрушение	1.50	0.80

Функции за повреди за кладенци за питейна вода от максимално земно ускорение (PGA)

Функциите за повреди за кладенци за питейна вода в зависимост от PGA са общо четири. Възприета е предпоставката, че оборудването в кладенците е анкерирано. Медианите и дисперсиите са дадени в таблица 3.2.2-6. В HAZUS са дадени и параметрите на функциите на повреди за подкомпонентите.

Таблица 3.2.2-6. Функции за повреди за кладенци за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Кладенци	Леки/ Незначителни	0.15	0.75
	Умерени	0.36	0.65
	Значителни	0.72	0.65
	Пълно разрушение	1.50	0.80

Функции за повреди за резервоари за питейна вода

Функциите на повреди за резервоарите за питейна вода са общо 24 броя – за наземни бетонови резервоари (анкерирани и неанкерирани), наземни стоманени (анкерирани и неанкерирани), стоманени повдигнати (водни кули) и дървени наземни. Термините анкерирани и неанкерирани съответстват на наличие или отсъствие на връзка между стената на резервоара и опорния бетонов пръстен. Медианите и дисперсиите на функциите за повреди от PGA са дадени в таблица 3.2.2-7.

Таблица 3.2.2-7. Функции за повреди за резервоари за питейна вода

Максимално земно ускорение (PGA)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (g)	β
Наземни анкерирани бетонови резервоари	Леки/ Незначителни	0.25	0.55
	Умерени	0.52	0.70
	Значителни	0.95	0.60
	Пълно разрушение	1.64	0.70
Наземни неанкерирани бетонови резервоари	Леки/ Незначителни	0.18	0.60
	Умерени	0.42	0.70
	Значителни	0.70	0.55
	Пълно разрушение	1.04	0.60
Наземни анкерирани стоманени резервоари	Леки/ Незначителни	0.30	0.60
	Умерени	0.70	0.60
	Значителни	1.25	0.65
	Пълно разрушение	1.60	0.60
Наземни неанкерирани стоманени резервоари	Леки/ Незначителни	0.15	0.70
	Умерени	0.35	0.75
	Значителни	0.68	0.75
	Пълно разрушение	0.95	0.70
Стоманени резервоари повдигнати (водни кули)	Леки/ Незначителни	0.18	0.50
	Умерени	0.55	0.50
	Значителни	1.15	0.60
	Пълно разрушение	1.50	0.60
Наземни дървени резервоари	Леки/ Незначителни	0.15	0.60
	Умерени	0.40	0.60
	Значителни	0.70	0.70
	Пълно разрушение	0.90	0.70
Остатъчно преместване (PGD)			
Класификация	Степен на повреда	Медиана (in/cm)	β
Подземни бетонови резервоари	Леки/ Незначителни	2/5.08	0.60
	Умерени	4/10.16	0.60
	Значителни	8/20.32	0.70
	Пълно разрушение	12/30.48	0.70

Функции за повреди на подземни тръбопроводи за питейна вода

При подземните тръбопроводи се използват два алгоритъма за определяне на повредите, свързани съответно с максималната земна скорост (PGV) и постоянната/ остатъчна земна деформация (PGD). И в двата случая диаметърът на тръбата не е определящ.

Първият алгоритъм използва следната формула:

$$RR \cong 0.0001(PGV)^{2.25},$$

където: RR е плътността/гъстотата на ремонтните дейности за единица дължина от тръбопровода [ремонти/km]; дименсията на PGV е [cm/s].

Зависимостта е изведена от данни за азбестоциментови, бетонови и чугунени тръби. Приема се, че е валидна за тръби от крехки материали. За дуктилни тръби (стомана, модифициран чугун и PVC) се въвежда корекционен коефициент 0.3. В HAZUS стоманените тръбопроводи с дъгово заварени съединения се класифицират като дуктилни, а с газови заварени съединения – като крехки. По тази причина се препоръчва стоманени тръби, инсталирани преди 1935 г., да се приемат за крехки.

Алгоритъмът за определяне на повредите на подземни тръбопроводи, дължащи се на остатъчни земни премествания, се основава на работата на Honegger and Eguchi (1992). Използва се следната зависимост:

$$RR \cong \text{Prob [liq]}(PGD)^{0.56},$$

където PGD е в инчове.

Формулата е приложима за крехки тръбопроводи. За дуктилните се въвежда корекционен фактор 0.3, както при PGV алгоритъма.

Функциите за повреди, използвани в HAZUS за оценка на загубите, са представени в таблица 3.2.2-8.

Таблица 3.2.2-8. Алгоритъм на повредите за тръбопроводи

	PGV алгоритъм	PGD алгоритъм
	$RR \cong 0.0001(PGV)^{2.25}$	$RR \cong \text{Prob [liq]}(PGD)^{0.56}$
Тип на тръбите	Фактор	Фактор
Крехки тръби	1	1
Дуктилни тръби	0.3	0.3

3.2.2.1.2. Функции за повреди на компонентите на системите за питейна вода, съгласно SRM-LIFE / SYNER-G

В таблица 3.2.2-9 са дадени параметрите на функциите за повреди на компонентите на системите за питейна вода: кладенци, пречиствателни станции,

МЕТОДИКА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ
РИСК НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

помпени станции, а в таблици 3.2.2-10 и 3.2.2-11 – съответно за ст.б. неанкерирани и анкерирани резервоари.

Таблица 3.2.2-9. Параметри на функциите за повреди на компонентите на системите за питейна вода в SRM-LIFE/SYNER-G

Компонент	Методология	Описание	Степен на повреди	Максимално земно ускорение (PGA)	
				Медиана, λ	отклонение, β
Кладенци	SRM-LIFE	Анкерирани компоненти, ниска ст.б. сграда с ниско ниво на сеизмично проектиране	Леки/ незначителни повреди	0.16	0.7
			Умерени повреди	0.18	0.65
			Значителни повреди	0.30	0.65
			Пълно разрушение	0.40	0.75
Кладенци	SRM-LIFE	Анкерирани компоненти, ниска ст.б. сграда с високо ниво на сеизмично проектиране	Леки/ незначителни повреди	0.25	0.55
			Умерени повреди	0.45	0.5
			Значителни повреди	0.85	0.55
			Пълно разрушение	2.1	0.7
<i>Като алтернатива може да се използват параметрите на кривите на повреди от HAZUS. Степените на повреди и описанията им са същите</i>					
Пречиствателни станции за питейна вода	SRM-LIFE	Анкерирани компоненти, без резервно хранване	Леки/ незначителни повреди	0.15	0.30
			Умерени повреди	0.30	0.25
			Значителни повреди	0.55	0.650
			Пълно разрушение	0.90	0.55
<i>Като алтернатива да се използват параметрите на кривите на повреди от HAZUS. Степените на повреди и описанията им са същите</i>					
Помпени станции за питейна вода	SRM-LIFE	Анкерирани компоненти, без резервно хранване; ниски ст.б. сгради с ниско ниво на сеизмично проектиране	Леки/ незначителни повреди	0.10	0.55
			Умерени повреди	0.15	0.55
			Значителни повреди	0.30	0.70
			Пълно разрушение	0.40	0.75
Помпени станции за питейна вода	SRM-LIFE	Анкерирани компоненти, без резервно хранване; ниски ст.б. сгради с високо ниво на сеизмично проектиране	Леки/ незначителни повреди	0.15	0.30
			Умерени повреди	0.30	0.35
			Значителни повреди	1.1	0.55
			Пълно разрушение	2.1	0.70
<i>Като алтернатива да се използват параметрите на функциите за повреди от HAZUS. Степените на повреди и описанията им са същите</i>					

МЕТОДИКА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ
РИСК НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Таблица 3.2.2-10. Параметри на функциите за повреди на наземни неанкерирани ст.б. резервоари съгласно ALA и препоръчани в SYNER-G

Състояние на повреда	Способност за обслужване	Максимално земно ускорение (PGA)		Остатъчно земно преместване (PGD)	
		Медиана, λ	отклонение, β	Медиана, λ	отклонение, β
Повдигане на стената – смачкване на бетона	Не функционира	1.3	0.5		
Напукване или срязване на стената на резервоара		1.6	0.5		
Приплъзване на резервоара		1.1	0.5		
Прекалено високи пръстеновидни напрежения	Функционира	4.1	0.5		
PGD нарушение				24 in = 61 cm	0.5

Таблица 3.2.2-11. Параметри на функциите за повреди на наземни анкерирани ст.б. резервоари съгласно на ALA и препоръчани в SYNER-G

Състояние на повреда	Способност за обслужване	Максимално земно ускорение (PGA)		Остатъчно земно преместване (PGD)	
		Медиана, λ	отклонение, β	Медиана, λ	отклонение, β
Напукване или срязване на стената на резервоара	Загуба на съдържанието. Не функционира	1.05	0.45		
Повреда на покрива	Няма загуби на съдържание. Функционира	2.6	0.45		
Повдигане на стената – смачкване на бетона	Слаб теч. Функционира	2.0	0.45		
Приплъзване на резервоара	Слаб теч. Функционира	0.25	0.45		
Прекалено високи пръстеновидни напрежения	Загуба на съдържанието. Не функционира	0.75	0.45		
Леко високи пръстеновидни напрежения	Слаб теч. Функционира	0.45	0.45		
PGD нарушение				24 in = 61 cm	0.5

Параметрите на функциите за повреди на стоманени и дървени резервоари, препоръчани в SYNER-G, са съгласно HAZUS.

МЕТОДИКА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ
РИСК НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

В SYNER-G са препоръчани функциите на ALA за подземни тръби поради факта, че се основават на по-голям брой наблюдения. Определят броя на ремонтите за km (RR) във функция от PGV (cm/s) (за разпространение на сеизмични вълни) и PGD (cm) (за остатъчни земни премествания в земната среда):

$$RR = 0.002416(PGV)K1$$

$$RR = 2.5829(PGD)K2^{3.19},$$

където K1 (табл. 3.2.2-12) и K2 (табл. 3.2.2-13) са коефициенти за коригиране на основната функция. Отчитат вида на материала, диаметъра и вида на връзките между тръбите.

Таблица 3.2.2-12. Стойности на K1 за модифициране функциите за повреди при разпространение на сеизмични вълни

	Материал на тръбата	Тип на връзките	Почва	Диаметър	K1
1	Чугун	Цимент	Всички	Малък	1.0
2	Чугун	Цимент	Корозивна	Малък	1.4
3	Чугун	Цимент	Некорозивна	Малък	0.7
4	Чугун	С гумени уплътнения	Всички	Малък	0.8
5	Заварени стоманени	Дъгово заварени	Всички	Малък	0.6
6	Заварени стоманени	Дъгово заварени	Корозивна	Малък	0.9
7	Заварени стоманени	Дъгово заварени	Некорозивна	Малък	0.3
8	Заварени стоманени	Дъгово заварени	Всички	Голям	0.15
9	Заварени стоманени	С гумени уплътнения	Всички	Малък	0.7
10	Заварени стоманени	На винт; фланш	Всички	Малък	1.3
11	Азбестоцимент	Гумени уплътнения	Всички	Малък	1.0
12	Бетонени + стом. цил.	Дъгово заварени	Всички	Голям	0.7
13	Бетонени + стом. цил.	Цимент	Всички	Голям	1.0
14	Бетонени + стом. цил.	Гумени уплътнения	Всички	Голям	0.8
15	PVC	Гумени уплътнения	Всички	Малък	0.5

Под “малък диаметър” се разбира от 4 до 12 in (100–300 mm) и съответно “голям” – \geq 16 in (406 mm).