

U SUSRET DRUGOJ GENERACIJI EVROKODA 7

Veljko Pujević*, Nikola Obradović*, Stefan Mitrović*,
Mirjana Vukićević*

* *Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. Kralja Aleksandra 73, Beograd, pujevic.veljko@gmail.com, vpujevic@grf.bg.ac.rs*

REZIME

S obzirom da je proces pripreme i kontinuirane revizije radnih verzija druge generacije Evrokodova uveliko u toku i da je za sredinu 2024. godine zakazano izglasavanje novih verzija, koje bi sa primenom mogle da počnu nakon definsanje potrebnih Nacionalnih Aneksa (trenutna očekivanja su 2025/2026), autori, inače redovni i aktivni članovi komisije U182 Intituta za standardizaciju Srbije (ISS) u oblasti geotehnike, rešili su da kroz ovaj pregledni rad, sažeto prikažu stručnoj javnosti novine i izmene koje donosi druga generacije Evrokoda 7.

KLJUČNE REČI: Evrokod 7, Geotehničke kategorije, MFA, RFA, proračunski slučajevi

TOWARDS THE SECOND GENERATION OF EUROCODE 7

ABSTRACT

The process of preparation and parallel revisions of draft versions of the second-generation of Eurocodes is largely underway. The formal voting of new versions is scheduled for mid-2024, which means that the first applications could begin immediately after the set-up of National Annexes, which is expected to happen around 2025-2026. For that reason, the authors which are otherwise, regular and active members of the commission U182 of the Serbian National Standardisation Body in the field of geotechnics, decided to, through this review paper, briefly present to the engineering community the novelties and changes brought by the second-generation of Eurocode 7.

KEY WORDS: Eurocode 7, Geotechnical categories, MFA, RFA, Design Cases

UVOD

Početak primene Evrokoda 7 vezuje se za 2007. godinu i publikovanje druge sveske EN 1997-2:2007. U periodu do 2010. poznatijem i kao period koegzistencije, članice CENa su imale mogućnost da paralelno sa postojećim nacionalnim propisima koriste i nove Evropske norme (EN). Već tokom tog tranzicionog perioda aplikacije identifikovani su brojni nedostaci, što se naročito odnosilo na Evrokod 7. Reakcija od strane CENa sastojala se u formiranju brojnih, usko specijalizovanih ekspertskih grupa (Evolution groups) sa zadatkom generalne evaluacije svih Evrokodova. Kao rezultat detaljne i sistematične revizije svih Evrokodova u periodu do 2015. godine, proistekla je potreba za razvojem druge generacije Evrokodova (Orr et al., 2015).

Definisani ciljevi razvoja nove generacije Evrokodova proistekli su iz utvrđenih nedostataka. Kao prioritetni, izdvojeni su sledeći zadaci:

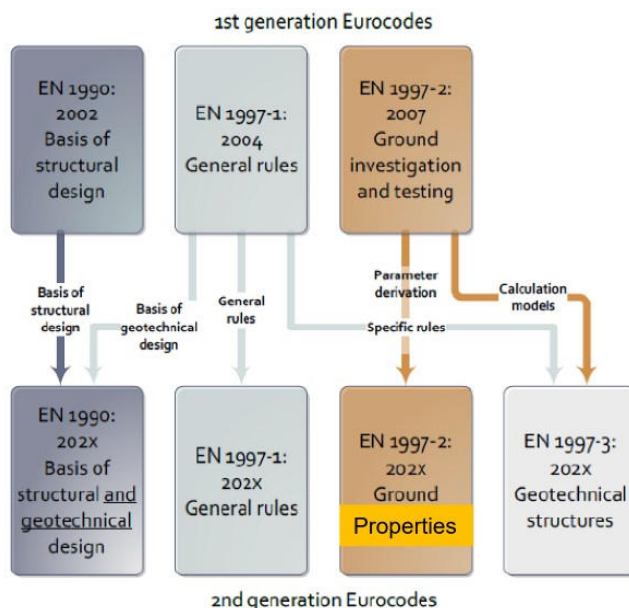
- pojednostavljenje same upotrebe Evrokodova
- jačanje konzistentnosti između pojedinačnih delova Evrokoda
- redukcija broja parametara definisanih kroz NA
- uvođenje koncepta robustnosti konstrukcije
- proširenje zahteva koji se tiču nadzora, monitoringa i održavanja
- preciznije definisanje potrebnih kompetencije i stručnosti

Dopunski ciljevi, usko vezani za oblast Evrokoda 7 obuhvataju:

- Proširenje koncepta Geotehničkih kategorija
- Unapredjenje sigurnosnog formata

Kao ključan generalni problem kompletne garniture Evrokodova identifikovana je komplikovana primena koje se ogleda u nekonzistentnoj strukturi i terminologiji između pojedinih Evrokodova kao i između pojedinih poglavlja unutar jednog dela, komplikovanim analizama i konačno mnoštvu sporednih/marginalnih informacija koje potragu za relevantnim informacijama čine izuzetno zametnom. Svakodnevnu praktičnu primenu dodatno otežava činjenica da su brojne odredbe nejasne, čime su stvoreni uslovi za različita tumačenja, a posledično i za drastično različita konačna rešenja. U cilju pojednostavljenja primene, odlučeno je da druga generacija Evrokodova dobije značajno uniformniju i konzistentniju strukturu sa jednoobraznim setom termina (Bond et al., 2015). Konkretno Evrokod 7 je umesto dosadašnje dve knjige restrukturiran i prepakovan u tri knjige: Deo 1 – opšta pravila, Deo 2 – svojstva tla, Deo 3 – geotehničke konstrukcije, što je šematski prikazano na Slici 1.

Kao što se sa prikazane šeme vidi fundamentalni principi i pravila geotehničkog projektovanja izmešteni su u Evrokod 0, što suštinski znači da se druga generacija Evrokoda 7 sastoji od 4 dela. I pored toga što je praktično i Evrokod 0 ravnopravni član nove generacije Evrokoda 7, u nastavku rada biće prikazane samo najbitnije izmene i novine za tri formalna dela druge generacije Evrokoda 7.



Slika 1. Reorganizacija Evrokoda 7, (Bond, 2019)
Figure 1. Reorganisation of Eurcode 7, 2nd generation (Bond, 2019)

PREDLOŽENE IZMENE I NOVINE EVROKODA 7, DEO 1: OPŠTA PRAVILA

Kao što je već napomenuto u uvodnom poglavlju, jedan deo bazičnih principa geotehničkog projektovanja izmešten je u Evrokod 0, dok je deo specifičnih pravila i informacija koje se tiču konkretnih geotehničkih konstrukcija premešten u novu svesku broj tri Evrokoda 7.

Osim sprovedene reorganizacije, predložene su modifikacije brojnih elementarnih komponenti procesa geotehničkog projektovanja (Orr, 2019), od kojih će najbitnije biti objašnjene u nastavku ovog poglavlja.

U okviru prve generacije Evrokoda 7 po prvi put je bio uveden koncept "Geotehničkih kategorija", sa ciljem da se kompletan lanac aktivnosti počev od istražnih radova, preko projektovanja, do izvođenja i nadzora prilagodi nivou rizika i kompleksnosti. Međutim princip selektovanja odgovarajuće geotehničke kategorije kao i posledične mere za obezbeđenje zahtevane pouzdanosti nisu bile precizno definisane. U okviru druge generacije Evrokoda 7 postupak izbora odgovarajuće Geotehničke kategorije je značajno pojednostavljen. Geotehničke kategorije eksplicitno su definisane u funkciji klase posledica (CC) i klase kompleksnosti geotehničkih uslova (GCC). Osim toga mere za obezbeđenje pouzdanosti koje obuhvataju definisanje i faktorisanje osnovnih promenljivih, tačnost proračunskih modela, limitiranje ljudskih grešaka i implementacija projekta (nadzor i održavanje), su vrlo precizno i jasno definisane u tabularnoj formi prilagodjenoj svakodnevnoj praksi. U Tabeli 1. data je relacija između Geotehničkih kategorija (GC) i Klase posledica (CC) i geotehničke kompleksnosti (GCC).

Tabela 1. Izbor Geotehničke kategorije u funkciji Klase posledica i Klase geotehničke kompleksnosti
 Table 1. Selection of the Geotechnical Category based on the Consequence and Geotechnical Complexity Classes

Consequence Class (CC)	Geotechnical Complexity Class (GCC)		
	Lower (GCC1)	Normal (GCC2)	Higher (GCC3)
Higher (CC3)	GC2	GC3	GC3
Normal (CC2)	GC2	GC2	GC3
Lower (CC1)	GC1	GC2	GC2

Osim Geotehničkih kategorija, u okviru druge generacije Evrokoda 7 značajno unapredjenje pretrpeo je i sam sigurnosni format. Koncept proračunskih pristupa (DA) pokazao se kao konfuzan i predstavljao je suštinsku prepreku za postizanje veće stope harmonizacije u geotehničkoj praksi između članica CENa. Osim toga koncept tri proračunska pristupa predstavlja jedan od bitnijih uzročnika velikog broja Nacionalno definisanih parametara. Predlog je da se u drugoj generaciji Evrokoda 7 koncept proračunskih pristupa (DA) napusti i da se predje na jednostavniji sistem koji bi se sastojao od dva bazična postupka, prvi u kome bi se faktorisala materijalna svojstva, tzv. "Materials Factor Approach" (MFA) ili drugi u kome bi se direktno faktorisali otpori, tzv. "Resistance Factor Approach" (RFA). Što se tiče leve strane verifikacione (ne)jednačine graničnih stanja, dejstva i uticaji od dejstava se u drugoj generaciji Evrokodova tretiraju kroz tzv. proračunske slučajeve (Design cases). U okviru Evrokoda 0 biće definisana četiri proračunska slučaja, od čega se treći i četvrti (DC3 & DC4) odnose isključivo na geotehničko projektovanje. Merodavni proračunski slučajevi za konkretan geotehnički problem biće precizno specificirani u svesci tri Evrokoda 7. Dodatna novina, bar što se tiče Evrokoda 7, predstavlja mogućnost prilagodjavanja zahtevanih nivoa pouzdanosti predviđenim posledicama otkaza ili neispravnosti geotehničke konstrukcije. Ovo uskladjivanje pouzdanosti posledicama, sprovedeno je uvođenjem dopunskog koeficijenta koji je funkcija klase posledica, a kojim se ponderišu parcijalni faktori za materijalna svojstva ili otpore zavisno od usvojenog pristupa (MFA ili RFA).

$$\gamma_M = K_{MI} \cdot \gamma_{Mrec} \quad \text{ili} \quad \gamma_R = K_{RI} \cdot \gamma_{Rrec}$$

Treću značajnu izmenu/novinu predstavlja ukidanje pojma karakteristične vrednosti materijalnih svojstava i njegovu zamenu tzv. reprezentativnim vrednostima. Reprezentativnu vrednost koja će u drugoj generaciji Evrokoda 7 figurisati u dokaznicama graničnih stanja, moguće je dobiti na dva načina. U slučaju kada se raspoláže sa velikim brojem rezultata ispitivanja, reprezentativnoj vrednosti materijalnih svojstava pridružujemo karakterističnu vrednost koja odgovara 5% fraktilu Gausove raspodele, dobijenu neposrednom statističkom obradom. Suprotno, kada se ne raspoláže sa dovoljno statističkih podataka reprezentativnoj vrednosti materijalnih svojstava pridružujemo nominalnu vrednost, što je ekvivalentno proceduri "oprezne procene" definisanoj u prvoj verziji Evrokoda 7.

Zbog ne mogućnosti da se principi delovanja podzemne vode implementiraju u Evrokod 0, u novoj verziji Evrokoda 7 sveska 1, uticaj podzemne vode je zbog relevantnosti na ponašanje geotehničkih konstrukcija, dobio potpuno novo poglavlje. Za razliku od aktuelne verzije Evrokoda 7, koju je karakterisalo poprilično nejasno definisanje reprezentativnih i proračunskih vrednosti pornih pritisaka, u okviru predložene druge generacije, mnogo veća pažnja je posvećena toj problematici. Što se tiče reprezentativnih vrednosti omogućene su dve opcije koje podrazumevaju da se na osnovu nekog zapisa praćenja NPV ili pornih pritisaka 1) voda tretira isključivo kao stalno opterećenje, odnosno da se za reprezentativnu vrednost usvoji gornji ili donji fraktil zapisa, zavisno od toga koji je merodavan za konkretno razmatrano granično stanje, ili 2) srednja vrednost zapisa tretira kao stalno opterećenje, dok se amplituda posmatra kao promenljivom opterećenje. Kod definisanja proračunskih vrednosti pornih pritisaka omogućene su tri opcije: 1) da joj se pridruži nominalna vrednost, što bi odgovaralo direktnoj proceni proračunske vrednosti, 2) da se izrazi kao suma reprezentativne vrednosti i direktno procenjenog odstupanja/tolerancije ili 3) da se dobije apliciranjem odgovarajućih parcijalnih faktora.

Zbog sve veće primene numeričkih metoda u rešavanju geotehničkih problema, u okviru druge generacije Evrokoda 7 se očekuje da posebna pažnja bude posvećena implementaciji koncepta sigurnosti u numeričke analize. Zavisno od graničnog stanja koje se analizira, predložena su dva pristupa koja se sastoje bilo u direktnom faktorisanju inputa (materijalnih svojstava) bilo u faktorisanju outputa (rezultata - npr. presečnih sila kod uklještenih potpornih konstrukcija).

PREDLOŽENE IZMENE I NOVINE EVROKODA 7, DEO 2: SVOJSTVA TLA

Kompletna reorganizacija EN 1997-2, drugog dela prve generacije Evrokoda, je načinjena. Ključno pitanje je kako dobiti svojstva tla iz ispitivanja tla. Fokus je sada na proračunu umesto na samim opitima. Svojstva tla su ključna, a ispitivanje ili odabir testa sledi iz željene karakteristike. Druga generacija EN 1997-2 će sadržati deo o različitim svojstvima tla i u okviru toga način na koji se ona mogu odrediti. Prva generacija EN 1997-2 2007 Istraživanje i ispitivanje terena, će u narednoj generaciji biti podeljena na EN 1997-2 202X Svojstva tla, koje će sadržati opšta pravila i svojstva, i EN 1997-3 202X Geotehničke konstrukcije, koje će sadržati modele za proračun (Calculation Models). Određivanje različitih svojstava tla se može svrstati u nekoliko kategorija kao što su: fizička svojstva tla i hemijska svojstva tla u odeljku 7, zatim parametri čvrstoće tla u odeljku 8, svojstva tla vezanih za krutosti i konsolidaciju u odeljku 9, ciklična, dinamička i seizmička svojstva tla u odeljku 10, geohidraulična svojstva tla i termalna svojstva tla. Određivanje različitih parametara tla je prikazano u novoj generaciji EN 1997-2, kako direktno iz testova, tako i na indirektan način. Preporuke za određivanje modela tla (Ground Model) su date u novoj generaciji EN 1997-2, u četvrtom odeljku. Odeljak Model tla se sastoji iz opštih pravila i dela određivanje vrednosti parametara tla. Jasno je naznačeno da se zahteva da model tla bude formiran u zavisnosti od geoloških, hidrogeoloških i geotehničkih uslova. Uvode se i pojmovi kao što su geotehnička kategorija i zona uticaja konstrukcije. Suštinska razlika između prve i druge generacije EN 1997 je ta da sada EN 1997-2, ne sadrži samo tlo, već tlo i stenu, čime je i stena uzeta u obzir. EN 1997-2, u drugoj generaciji sadrži Aneks, u

kome su date preporuke za istražne radove i metode za određivanje svojstava čvrstoće. Za In-situ ispitivanja u Aneksu tabelarno su prikazani maksimalni razmak i minimalni broj testova za lokacije odnosno pozicije istražnih radova. Često su istražni radovi zanemareni ili nedovoljno izvršeni pa se ovime želelo postići da se kroz priručnik definiše minimalan broj istražnih radova koje je neophodno izvršiti na lokaciji. Zaključak za drugu generaciju EN 1997-2 je da je kompletno restrukturiran u korist projektanta, gde se projektantu objašnjava kako dobiti svojstva tla koja su neophodna za proračun. Težnja je da druga generacija EN 1997 sadrži više zahteva od preporuka, za razliku od prethodne generacije, i da se projektantu ostavi što manje prostora za subjektivno odlučivanje.

PREDLOŽENE IZMENE I NOVINE EVROKODA 7, DEO 3: GEOTEHNIČKE KONSTRUKCIJE

Novinu u radnoj verziji sledeće generacije Evrokoda 7 predstavlja deo 3. koji se odnosi na posebna pravila za geotehničke konstrukcije. Sastoji se od dela poglavlja i odredbi iz oba dela starog Evrokoda 7, kao i iz novih poglavlja koja se bave geotehničkim konstrukcijama koja nisu bila obuhvaćena do sada. Takođe, sadrži veoma opširne informativne anekse koji sadrže preporuke o metodama proračuna za pojedine geotehničke konstrukcije. Struktura ovog dela je usklađena sa strukturom ostalih Evrokodova. Poglavlja vezana za stabilnost kosina, plitke i duboke temelje, potporne konstrukcije i sidra su proširena, dok su dodata poglavlja za grupe šipova i kombinovano fundiranje na šipovima i temeljnoj ploči (piled rafts), armiranom tlu (uključujući i zidove od mehanički stabilizovanog tla –MSE, za koje ranije nisu postojala određena pravila), poboljšanje tla i upravljanje nivoom podzemnih voda. Takođe, u okviru svakog poglavlja obuhvaćena su pravila za projektovanje u i na stenskoj masi.

Pravila za minimalni obim terenskih ispitivanja data su za svaku geotehničku konstrukciju i značajno su proširena u odnosu na prethodnu verziju Evrokoda (u okviru sadašnjeg dela dva). Novinu predstavlja i razdvajanje setova parcijalnih faktora posebno za proračun stalnih i prolaznih proračunskih situacija, odnosno incidentnih proračunskih situacija. Za svaku geotehničku konstrukciju date su tabele sa setovima parcijalnih faktora za različite proračunske situacije, u zavisnosti koji se proračunski pristup koristi: MFA ili RFA. Izbor nacionalno određenih parametara je dopušten za definisanje parcijalnih faktora za svaku geotehničku konstrukciju i treba da bude dat u nacionalnom aneksu. U slučaju da nije donesen nacionalni aneks, treba koristiti preporučene vrednosti, a u slučaju da nisu date preporučene vrednosti, onda izbor nacionalno određenih parametara može biti predmet dogovora zainteresovanih strana u konkretnom projektu. Ako bi se napravio osvrt na sadašnju verziju Evrokoda (CEN, 2004) i odgovarajući nacionalni aneks (ISS, 2019), npr. za stabilnost kosina je definisano da se koristi proračunski pristup 3, što je istovetno novom predlogu (predložena upotreba MFA, sa setom DC3 za parcijalne faktore za dejstva i efekte dejstava i setom M2 parcijalnih faktora za parametre tla).

Detaljnije će biti dat komentar novih odredbi koje se odnose na pravila za duboke temelje na šipovima, s obzirom da to predstavlja posebno interesovanje autora (Obradović et al., 2021, 2019). Uvedena je nova klasifikacija svih šipova u zavisnosti od toga kako izvođenje

šipa utiče na tlo oko šipa: šipovi izvedeni bez iskopa tla (displacement piles), šipovi izvedeni nakon iskopa tla (replacement piles) i šipovi koji ne spadaju u prethodne dve grupe. Prvoj grupi šipova odgovarali bi pobijeni, utiskivani i šipovi gde se delimično vrši i iskop i zbijanje tla, dok drugoj grupi odgovaraju bušeni šipovi i drugi šipovi kod kojih se prvo vrši iskop tla. U informativnom aneksu C date su smernice za klasifikaciju šipova u prethodno navedene grupe. U zavisnosti od tipa šipa, zavisi i koji se set parcijalnih faktora koristi. Za aksijalno opterećene šipove dozvoljena je samo upotreba RFA, dok za bočno opterećene šipove dozvoljena samo MFA. Takođe, izričito je definisan minimalan broj šipova koje treba ispitati testom probnog opterećenja (statičkim, dinamičkim ili dr.) da bi se rezultati tih testova mogli koristiti za određivanje proračunske nosivosti šipova. Još jednu novinu predstavlja proširenje koncepta modelskog faktora za određivanje proračunske nosivosti. U prethodnoj verziji Evrokoda 7, upotreba modelskog faktora je bila preporučena samo ako se koriste "alternativne" metode, odnosno metode zasnovane na parametrima smičuće otpornosti tla. Modelski faktor je sada sastavan deo formula za određivanje proračunske nosivosti šipova, bez obzira na koji način se određuje nosivost šipova. Vrednost modelskog faktora zavisi od toga da li se nosivost šipa određuje proračunom (koji parametri se koriste i kako su određeni) ili iz rezultata probnog opterećenja (vrste testa, vrsta tla ili stene). Sadašnjim nacionalnim aneksom, vrednost modelskog faktora je 1.5 za proračunski pristup 2 (ISS, 2019), dok u novom predlogu vrednost modelskog faktora se kreće od 1.0 (statičko probno opterećenje za šipove oslonjene na stenu) do 1.6 (određivanje nosivosti prema parametrima smičuće otpornosti u tlu bez prethodnog iskustva sa izvođenjem šipova ili sprovedenim testovima probnog opterećenja). Karakteristična nosivost šipa je zamenjena reprezentativnom nosivošću. Nova verzija Evrokoda razlikuje dva proračunska modela za određivanje nosivosti šipova proračunom. Prvi predstavlja ground model method, kada se koriste prosečne vrednosti parametara tla ili stene na lokaciji. Drugi metod je model pile method, koji koristi rezultate terenskih opita (CPT, SPT) da bi sračunao nosivost šipova uprosečujući sračunate nosivosti na lokaciji. U prvoj metodi reprezentativna vrednost nosivosti je jednaka sračunatoj, dok u drugoj metodi reprezentativna vrednost je preko korelacionih faktora povezana sa sračunatom nosivosti. Slično modelskom faktoru, nova verzije sadrži znatno detaljnija pravila za određivanje korelacionih faktora. Kao i u prethodnoj verziji vrednosti modelskog faktora i korelacionih faktora mogu biti promenjene u nacionalnom aneksu. Setovi svih faktora su dati i za određivanje nosivosti zategnutih šipova, grupa šipova i kombinovanih temelja na ploči i šipovima. Eksplicitno je definisano da se dimenzionisanje materijala od koga je šip napravljen vrši prema delu Evrokoda koji se koristi za taj materijal.

ZAKLUČAK

Iz svega do sada prikazanog da se zaključiti da je fokus nove-druge generacije Evrokoda 7 prevashodno na pojednostavljenju komplikovanih procedura i preciznijem-jasnijem definisanju problematičnih odrednica aktuelne verzije, sa ciljem da se prosečnom građevinskom inženjeru omogući da nesmetano, bez prevelikog napora rutinski primenjuje Evropske norme u svakodnevnoj praksi.

Osim toga druga generacija Evrokoda 7 kroz nove odredbe koje se tiču implementacije numeričkih metoda, probabilističkih analiza i mehanike nezasićenih materijala prepoznaje značaj savremenih alata i metoda, čija će aplikacija skoro izvesno ući u standardnu praksu tokom planiranog perioda primene druge generacije Evrokoda 7 (2025-2040).

LITERATURA:

- Bond, A. (2019). *The role of the Ground Model in the 2nd generation of Eurocode 7*.
- Bond, A., Burlon, S., Van Seters, A., & Simpson, B. (2015). Planned changes in Eurocode 7 for the second generation of Eurocodes. *ICE Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development, ISBN 978-0-7277-6067-8*, 793–798. <https://doi.org/10.1680/ecsmge.60678>
- CEN (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules (Issue 1)*.
- ISS-Institut za Standardizaciju Srbije (2019). *SRPS EN 1997-1/NA*.
- Obradović, N., Marjanović, M., Pujević, V., & Vukićević, M. (2021). Determination of axial bearing capacity of MEGA piles according to Eurocode 7. *Proceedings of the International Conference "Contemporary Achievements in Civil Engineering 2021."*
- Obradović, N., Pujević, V., & Vukićević, M. (2019). Usporedna analiza proračuna nosivosti šipova prema EN7 i domaćem pravilniku. *Proceedings of the 8th International Conference "Geotechnics in Civil Engineering,"* 79–86.
- Orr, T. L. L. (2019). Honing safety and reliability aspects for the second generation of Eurocode 7. *Georisk, 13*(3), 205–213. <https://doi.org/10.1080/17499518.2019.1643547>
- Orr, T. L. L., Klosinski, B., & Lees, A. (2015). Recommended changes to Eurocode 7. *ICE Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development, ISBN 978-0-7277-6067-8*, 793–798. <https://doi.org/10.1680/ecsmge.60678>