

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



TINA STREHOVEC

**ANALIZA TEMPERATURNIH VPLIVOV NA
DEFORMACIJSKO NAPETOSTNO STANJE
DELNO VKOPANIH ARMIRANOBETONSKIH
KONSTRUKCIJ**

DIPLOMSKA NALOGA

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2023

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

TINA STREHOVEC

**ANALIZA TEMPERATURNIH VPLIVOV NA
DEFORMACIJSKO NAPETOSTNO STANJE
DELNO VKOPANIH ARMIRANOBETONSKIH
KONSTRUKCIJ**

Diplomska naloga št.:

**ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECTS ON
THE DEFORMATION STRESS STATE OF
PARTIALLY INGROUND REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES**

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

doc. dr. Bojan Čas

Predsednik komisije:

•

Somentorja:

doc.dr. Robert Pečenko, Peter Zupančič, univ.dipl.inž.grad.

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

ZAHVALA

Za usmerjanje, predano znanje in nasvete pri izdelavi diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Bojanu Času in somentorju doc.dr. Robertu Pečenku.

Prav tako se zahvaljujem somentorju in izjemnemu učitelju Petru Zupančiču za vse praktične nasvete, tehnično podporo, potrpežljivost in veliko vloženega časa.

Zahvaljujem se tudi stricu Marku Žibertu in celotnemu timu Predori in geotehnika, podjetja Elea Ic d.o.o., za tehnično in strokovno podporo med pisanjem diplomske naloge.

Posebna zahvala je namenjena družini in mojim najbližjim, ki so me tekom študija podpirali in izkazali izjemno potrpežljivost.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.21(043.2)
Avtor: Tina Strehovec
Mentor: doc. dr. Bojan Čas, univ. dipl. inž. grad.
Somentor: doc.dr. Robert Pečenko, univ. dipl. inž. grad.
Somentor: Peter Zupančič, dipl. inž. grad.
Naslov: Analiza temperaturnih vplivov na deformacijsko napetostno stanje delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcij
Tip dokumenta: diplomsko delo
Obseg in oprema: 45 str., 2 pregl., 49 sl., 15 en., 14 virov
Ključne besede: mostovi, delno vkopane konstrukcije, temperaturni vplivi, SIST EN 1991-1-5, ZTV-ING

Izvleček

V diplomskem delu analiziramo in primerjamo, kako temperaturne vplive definirata standard SIST EN 1991-1-5 in tehnična smernica ZTV-ING 2012.

V prvih poglavjih diplomske naloge so na splošno predstavljeni temperaturni vplivi, načini upoštevanja in obravnavan standard ter tehnična smernica. Nadalje je opisan tudi vpliv temperature na prekladne konstrukcije (povzet po SIST EN 1991-1-5), ki služi kot primer bolj natančnega definiranja vpliva temperature na konstrukcijo.

V naslednjih poglavjih je prikazan temperaturni vpliv na mostne opornike oziroma ostale delno zasute konstrukcije, najprej z metodo izračuna temperaturnih vplivov po SIST EN 1991-1-5 in nato po ZTV-ING 2012. Sledi primerjava med obravnavanima metodama. S primerjavo smo ugotovili, da je metoda po SIST EN 1991-1-5, nenatančna, saj ne upošteva vpliva zasutja elementa, vpliva podzemne vode, geometrije konstrukcije in sprememb temperature zaradi menjave letnih časov. Metoda, ki jo predpostavlja ZTV-ING 2012, pa upošteva vse naštet faktorje, zato je bolj primerna za definiranje temperaturnih vplivov.

Na koncu je prikazan še računski primer in primerjava rezultatov za obe metodi. Model konstrukcije smo povzeli po resničnem projektu armirano betonske kesonske konstrukcije. Najprej smo definirali potek temperature skozi posamezne elemente kesona pri obeh metodah. Nato smo s pomočjo programa Sofistik izvedli statično analizo in primerjali notranje statične količine ter potrebno količino armature.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: **624.21(043.2)**
Author: **Tina Strehovec**
Supervisor: **Assist. Prof. Bojan Čas, Ph.D**
Co-supervisor: **Assist. Prof. Robert Pečenko, Ph.D**
Co-supervisor: **Peter Zupančič**
Title: **Analysis of temperature effects on the deformation stress state of partially inground reinforced concrete structures**
Document type: **Graduation Thesis**
Notes: **45 p., 2 tab., 49 fig., 15 eq., 14 ref.**
Keywords: **bridges, partially inground structures, temperature effects, SIST EN 1991-1-5, ZTV-ING**

Abstract

In this thesis, we analyse and compare how temperature effects are defined by standard SIST EN 1991-1-5 and technical guideline ZTV-ING 2012.

In the first chapters of the thesis, the temperature effects, the methods of consideration, standard and technical guideline under consideration are presented. Furthermore, the influence of temperature on bridge decks is described (summarised from SIST EN 1991-1-5), which serves as an example of a precise and appropriate definition of the influence of temperature on a structure.

In the following chapters, the temperature impact on bridge abutments or other partially inground structures is presented, firstly using the method of temperature impact according to SIST EN 1991-1-5 and then according to ZTV-ING 2012. The two methods are then compared. The comparison revealed that the method according to SIST EN 1991-1-5 is imprecise, as it does not take into account the influence of the backfill of the element, the influence of the groundwater, the geometry of the structure and the changes in temperature due to the change of seasons. However, the method assumed by ZTV-ING 2012 takes into account all these factors and is therefore more suitable for defining temperature effects.

Finally, a computational example and a comparison of the results for the two methods are shown. The structural model was taken from a real reinforced concrete caisson structure project. First, the temperature load for the individual elements of the caisson was defined for both methods. Then, using Sofistik, a static analysis was carried out and the internal forces and the required amount of reinforcement were compared.

KAZALO

POPRAVKI – ERRATA	I
ZAHVALA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO	V
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO PREGLEDNIC.....	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS	X
1 UVOD	1
1.1 Predstavitev problema.....	1
1.2 Cilji in namen diplomske naloge	2
2 TEMPERATURNE OBTEŽBE KONSTRUKCIJ	4
2.1 Splošno	4
2.2 Standardi in tehnične smernice	4
2.2.1 Standard SIST EN 1991-1-5:2004.....	4
2.2.2 ZTV-ING 2012	4
2.3 Vrste temperaturnih sprememb	5
3 TEMPERATURNI VPLIVI NA PREKLADNE KONSTRUKCIJE MOSTOV	6
3.1 Enakomerna sprememba temperature	6
3.2 Neenakomerna-linearna sprememba temperature (linearni temperaturni gradient)	8
3.2.1 Pristop 1: Linearni potek temperatur v vertikalni smeri	8
3.2.2 Pristop 2: Potek temperatur v vertikalni smeri z upoštevanjem nelinearnih učinkov	9
3.2.3 Neenakomerna razporeditev temperatur v horizontalni smeri	10
3.3 Sočasno delovanje enakomerne temperaturne spremembe in linearnega temperaturnega gradienta	11
4 VPLIV TEMPERATURE NA MOSTNE OPORNIKE IN OSTALE DELNO VKOPANE KONSTRUKCIJE.....	13
4.1 Računska metoda skladno s standardom SIST EN 1991-1-5: 2004 (Evrokod) [10]	13
4.2 Računska metoda skladno s tehnično smernico ZTV-ING 2012 [14]	13
4.3 Primerjava predstavljenih metod.....	15
5 RAČUNSKI PRIMER	17
5.1 Vpliv temperature po ZTV-ING.....	20
5.2 Vpliv temperature po EC	23
6 REZULTATI	25
6.1 Notranje statične količine.....	26
6.1.1 Osne sile	26
6.1.2 Upogibni momenti.....	30
6.2 Potrebna računska armatura.....	34

6.2.1	Temelj	34
6.2.2	Stene.....	38
7	ZAKLJUČEK	43
VIRI.....		45

KAZALO SLIK

Slika 1: Porazdelitev temperature znotraj posameznega konstrukcijskega elementa [10]	5
Slika 2: Diagram za določitev najnižje in najvišje temperature konstrukcije, $T_{e, \min}$ in $T_{e, \max}$, v odvisnosti od minimalne in maksimalne temperature zraka v senci [10]	7
Slika 3: Temperature na notranjih površinah vkopanih oziroma delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcij [14]	14
Slika 4: Potek temperaturnih obremenitev v prečnem prerezu vkopane ali delno vkopane armiranobetonske konstrukcije [14].....	14
Slika 5: Konstrukcija, uporabljena za računski primer [3]	17
Slika 6: Karakteristični prečni prerez obravnavane konstrukcije	17
Slika 7: Vertikalna togost tal.....	18
Slika 8: Horizontalna togost tal.....	18
Slika 9: Karta absolutno najnižje temperature zraka s povratno dobo 50 let [7]	19
Slika 10: Karta absolutno najvišje temperature zraka s povratno dobo 50 let [7]	19
Slika 11: Izračun poteka temperature po posameznih elementih kesonske konstrukcije	21
Slika 12: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona, poletni čas (vpliv $T_{\max}$ po ZTV-ING [14]).....	22
Slika 13: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona, zimski čas (vpliv $T_{\min}$ po ZTV-ING [14]).....	22
Slika 14: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona ob vplivu $\Delta T_{M, \text{heat}}$ po EC	23
Slika 15: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona ob vplivu $\Delta T_{M, \text{cool}}$ po EC	23
Slika 16: Model kostrukcije v programu Sofistik	25
Slika 17: Prikaz debelin konstrukcijskih elementov računskega modela	25
Slika 18: Osna sila n_{xx} po metodi ZTV-ING – zima	26
Slika 19: Osna sila n_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima	26
Slika 20: Osna sila n_{xx} po metodi ZTV-ING – poletje	27
Slika 21: Osna sila n_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje	27
Slika 22: Osna sila n_{yy} po metodi ZTV-ING – zima	28
Slika 23: Osna sila n_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima	28
Slika 24: Osna sila n_{yy} po metodi ZTV-ING – poletje	29
Slika 25: Osna sila n_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje	29
Slika 26: Upogibni moment m_{xx} po metodi ZTV-ING – zima.....	30
Slika 27: Upogibni moment m_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima.....	30
Slika 28: Upogibni moment m_{xx} po metodi ZTV-ING – poletje.....	31
Slika 29: Upogibni moment m_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje.....	31
Slika 30: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima.....	32

Slika 31: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima	32
Slika 32: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje.....	33
Slika 33: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje.....	33
Slika 34: Potek zgornje armature v smeri x – osi (vzdolžna) po metodi ZTV-ING – temelj	34
Slika 35: Potek zgornje armature v smeri x – osi (vzdolžna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj ..	34
Slika 36: Potek spodnje armature v smeri x - osi (vzdolžna) po metodi ZTV-ING – temelj	35
Slika 37: Potek spodnje armature v smeri x – osi (vzdolžna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj ..	35
Slika 38: Potek zgornje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi ZTV-ING – temelj	36
Slika 39: Potek zgornje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj	36
Slika 40: Potek spodnje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi ZTV-ING – temelj.....	37
Slika 41: Potek spodnje armature v smeri y - osi (prečna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj	37
Slika 42: Potek zgornje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi ZTV-ING – stene	38
Slika 43: Potek zgornje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene	38
Slika 44: Potek spodnje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi ZTV-ING – stene.....	39
Slika 45: Potek spodnje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene	39
Slika 46: Potek zgornje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi ZTV-ING – stene	40
Slika 47: Potek zgornje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene ...	40
Slika 48: Potek spodnje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi ZTV-ING – stene.....	41
Slika 49: Potek spodnje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene...	41

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Priporočene vrednosti linearnega temperaturnega gradienta v vertikalni smeri prekladne konstrukcije mostu [10]	9
Preglednica 2: Priporočene vrednosti nelinearnega temperaturnega gradienta v vertikalni smeri armiranobetonske prekladne konstrukcije mostu [10]	10

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

CEN	The European Committee for Standardization – Evropski odbor za standardizacijo
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V – Nemški nacionalni inštitut za standardizacijo
EN	European standard – Evropski standard
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – Dodatni tehnični pogodbeni pogoji in smernice za inženirske objekte
ΔT_u	Enakomerni del temperaturne spremembe
ΔT_N	Območje enakomerne del temperature spremembe
$\Delta T_{N,con}$	Največji enakomerni del temperaturne spremembe krčenja
$\Delta T_{N,exp}$	Največji enakomerni del temperaturne spremembe raztezanja
ΔT_M	Linearni del temperaturne spremembe
$\Delta T_{M,heat}$	Linearni del temperaturne spremembe (segrevanje)
$\Delta T_{M,cool}$	Linearni del temperaturne spremembe (ohlajanje)
ΔT_E	Nelinearni del temperaturne spremembe
T_{min}	Najnižja temperatura ozračja v senci
T_{max}	Najvišja temperatura ozračja v senci
$T_{e,min}$	Najnižja temperatura konstrukcije
$T_{e,max}$	Najvišja temperatura konstrukcije
T_0	Temperature v času vzpostavitve podpiranja oziroma povprečna temperatura v času gradnje
ω_N	Redukcijski faktor enakomerne temperaturne spremembe za kombinacijo z neenakomerno - linearno temperaturno spremembo
ω_M	Redukcijski faktor neenakomerne-linearne temperaturne spremembe za kombinacijo z enakomerno temperaturno spremembo

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Gradbene konstrukcije so tekom svoje življenske dobe izpostavljene različnim vplivom. Vplivi, kot jih v gradbenih konstrukcijah običajno razumemo so lahko:

- **stalni** - lastna teža, stalna obtežba, stalni zemeljski pritiski, itd.
in
- **spremenljivi** - obtežba vetra, obtežba snega, prometna obtežba, spremenljivi zemeljski pritiski, toplotni vplivi itd.

Poleg navedenih vplivov standard SIST EN 1990: 2004 [8] predvideva še t.i. nezgodne vplive kot so npr. eksplozija, trčenje vozil ali požar.

V diplomskem delu se bomo podrobneje posvetili toplotnim vplivom oziroma vplivom temperaturnih sprememb, ki so jim izpostavljene armiranobetonske konstrukcije med t.i. rednim obratovanjem v njihovi življenski dobi. Navedeno pomeni, da prej navedenih nezgodnih vplivov, med katere sodi tudi požar, ne bomo obravnavali. Natančneje se posvetimo vplivom temperaturnih sprememb na deformacijsko in napetostno stanje armiranobetonskih mostnih opornikov in ostalih delno vkopanih oziroma zasutih armiranobetonskih konstrukcij, kot so na primer oporni ali podporni zidovi ter kesonske konstrukcije. V nadaljevanju naloge bomo za vse navedene vrste konstrukcij uporabljali skupno poimenovanje delno vkopane armiranobetonske konstrukcije.

Temperatura delno vkopane konstrukcije se spreminja zaradi spremembe temperature ozračja ter spremembe temperature hribine, s katero je konstrukcija v kontaktu. Te spremembe so posledice vremenskih sprememb, sončnega sevanja itd. Od temperaturnih sprememb v konstrukciji je odvisno, koliko se bo konstrukcija raztezala oziroma krčila. Podnevi in v poletnih mesecih temperatura v konstrukciji, v smeri od proste armiranobetonske površine proti zaledni hribini pada, kar privede do t.i. pozitivnega temperaturnega gradienta. Ponoči in v zimskih mesecih je stanje ravno obratno, torej, temperatura v konstrukciji, v smeri od proste armiranobetonske površine proti zaledni hribini narašča, kar privede do t.i. negativnega temperaturnega gradienta. Ob navedenem lahko temperaturne spremembe v tovrstnih konstrukcijah povzroča tudi prisotnost podzemnih vod, ki v poletnih mesecih tovrstne vkopane konstrukcije ohlajajo, v zimskih mesecih pa segrevajo [1].

Na posebnih območjih z ekstremnim sončnim sevanjem lahko temperaturni učinki celo presežejo učinke, ki jih povzročajo stalne in spremenljive obtežbe. V [6] so obravnavani tovrstni ekstremni temperaturni učinki na deformacijsko napetostno stanje prekladnih konstrukcij mostov. Na podlagi ugotovitev v [6], pa je mogoče sklepati, da tovrstni učinki, če konstrukcije niso ustrezno zasnovane, negativno vplivajo tudi na trajnost in varnost delno vkopanih konstrukcij v njihovi življenski dobi.

Zaradi vpliva podnebnih dejavnikov je razumljivo, da obstajajo velike regionalne razlike v temperaturnem delovanju konstrukcij. Znanstveniki, ki so se ukvarjali s temperaturnimi obremenitvami mostov [5], so opravili obsežne raziskave, na podlagi katerih so prišli do spoznanj, da je regionalnim

razlikam potrebno posvetiti zadostno pozornost. Nekateri [5] so obravnavna geografska območja razdelili na več regij upoštevaje specifične podnebne značilnosti posameznih območij. Drugi so izračunali temperaturo mostov posredno prek meteoroloških parametrov v skladu s konturno karto meteoroloških parametrov. Ta metoda je bila vpeljana v standard Evrokod 1, britanski standard BS5400 in avstralski kodeks mostov [5].

Naj pojasnimo, da je naše delo temeljilo na dostopni zakonodaji ter znanstveni literaturi, ki se praviloma natančneje posveča prekladnim konstrukcijam mostov [10], [11] obravnava pa tudi delno vkopane konstrukcije mostov [14], ki jih praviloma predstavljajo armiranobetonski oporniki. Tako v nadaljevanju, na podlagi omenjenih standardov in znanstvene literature, pogosto izhajamo iz dognanj, ki so vezana na temperaturne vplive v mostovih in jih poskušamo, tehnično smiselno, uporabiti tudi pri ostalih delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcijah.

1.2 Cilji in namen diplomske naloge

Standard SIST EN 1991-1-5: 2004 Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi, ki nam je predstavljal izhodiščno literaturo pri delu, razdeli mostno konstrukcijo na dva dela, prvega sestavlja prekladna konstrukcija, drugega pa mostni oporniki, ki so delno vkopane, praviloma armiranobetonske konstrukcije. V navedenem standardu je predstavljena natančna obravnava temperaturnih obtežb v prekladni konstrukciji, medtem, ko za temperaturne obtežbe mostnih opornikov standard predlaga zelo poenostavljeno računsko metodo. Cilj diplomske naloge je poiskati natančnejšo metodo izračuna temperaturnih obtežb v armiranobetonskih mostnih opornikih in drugih delno vkopanih konstrukcijah.

Diplomska naloga je vsebinsko razdeljena na pet bistvenih poglavij. Za uvodnim delom je v drugem poglavju na kratko predstavljen splošni temperaturni vpliv v konstrukcijah. Opisani so tudi načini upoštevanja temperaturnih sprememb v posameznih karakterističnih konstrukcijskih elementih mostov. Sledi predstavitev standarda in tehnične smernice, ki sta kasneje smiselno uporabljena v primerjavah izračunov poteka temperaturnih obtežb v armiranobetonskih mostnih opornikih in drugih delno zasutih konstrukcijah.

Omenjeni standard ter tehnična smernica sta:

- SIST EN 1991-1-5: 2004 Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi [10]
- ZTV-ING 2012 [14]

V tretjem poglavju je predstavljen izračun poteka temperature skozi karakteristične armiranobetonske prekladne konstrukcije mostov. V četrtem poglavju sta predstavljeni metodi izračuna temperaturnih obtežb v mostnih opornikih oziroma delno vkopanih konstrukcijah skladno s standardom [10] ter tehnično smernico [14]. Najprej je predstavljena metoda izračuna, ki jo navaja standard SIST EN 1991-1-5:2004 [10], nato je predstavljena metoda, ki jo predlaga tehnična smernica ZTV-ING 2012 [14]. Sledi primerjava obeh predstavljenih računskih metod. V petem poglavju je predstavljen računski primer. Obravnavana je realna konstrukcija – armiranobetonska, kesonska, delno vkopana, konstrukcija, ki

poteka pod železniško progo. Konstrukcija je najprej, v smislu temperaturnih obtežb, analizirana skladno z ZTV-ING 2012 [14] ter nato še skladno s standardom SIST EN 1991-1-5 [10]. Ugotavljamo, da standard SIST EN 1991-1-5 [10] zelo pomankljivo definira temperaturne vplive na armiranobetonske stene in temeljno ploščo obravnavane delno vkopane kesonske konstrukcije. V šestem poglavju so prikazani še rezultati in ugotovitve.

2 TEMPERATURNE OBTEŽBE KONSTRUKCIJ

V tem poglavju predstavimo toplotne vplive oziroma vplive temperaturnih sprememb v konstrukcijah in sicer splošno ter skladno s standardom SIST EN 1991-1-5: 2004 Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi [10]. Prikazane in pojasnjene so različne vrste oziroma načini temperaturnih sprememb znotraj obravnavanega konstrukcijskega elementa.

2.1 Splošno

Toplotne vplive v konstrukcijah je mogoče opisati s pomočjo t.i. temperaturnih polj oziroma temperaturnih sprememb, ki jih običajno predstavimo v karakterističnih prečnih prerezi konstrukcije. Razlike temperatur v posameznih prečnih prerezi povzročajo prerazporeditev temperatur znotraj elementov konstrukcij.

Običajne spremembe temperature konstrukcij so posledice bodisi dnevne bodisi sezonskih nihanj temperatur okolice [10].

2.2 Standardi in tehnične smernice

V nadaljevanju na kratko predstavimo standard in tehnično smernico, ki sta predstavljala temeljno literaturo za obravnavo temperaturnih vplivov v delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcijah.

2.2.1 Standard SIST EN 1991-1-5:2004

SIST EN 1991-1-5:2004 [10] je standard, ki izhaja iz skupine standardov Evrokod. Evrokodi so standardi, ki obravnavajo varnost, uporabnost in trajnost konstrukcij, pri čemer opisujejo tudi temelje za njihovo načrtovanje in preverjanje ter ponujajo priporočila, kako doseči te značilnosti konstrukcijske zanesljivosti. Zahteve in analitični modeli so načela evrokodov, skupaj s splošnimi določbami in opredelitvami, za katere ni prostora za presojo. Predpisi evrokodov so splošno priznani zakoni, ki upoštevajo vodilne koncepte in specifikacije. Vse države članice Evropskega odbora za standardizacijo (CEN) priznavajo evrokode sprejete s strani CEN. Vendar pa ti standardi po svoji naravi niso obvezni. Zavezujoči za uporabo postanejo šele, ko nek zakon ali tehnični predpis določi, da so obvezni. V naši zakonodaji so evrokodi postali zavezujoči s sprejetjem Pravilnika o mehanski odpornosti in stabilnosti (Uradni list RS, št. 101/2005). To pomeni, da so podjetja in posamezniki pri načrtovanju, gradnji in uporabi objektov, zavezani k njihovi uporabi [13].

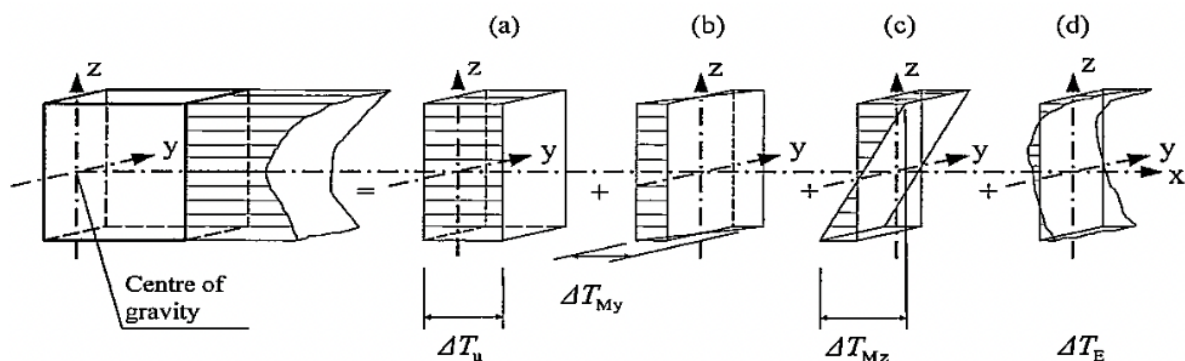
2.2.2 ZTV-ING 2012

ZTV-ING 2012 [14] je nemška tehnična smernica. ZTV-ING je okrajšava za Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten oziroma v prevodu Dodatni tehnični pogodbeni pogoji in smernice za inženirske objekte. Le ti veljajo za gradnjo in vzdrževanje inženirskih objektov v skladu z nemškim standardom DIN 1076.

2.3 Vrste temperaturnih sprememb

Skladno s SIST EN 1991-1-5: 2004 [10] je temperaturno polje v prečnem prerezu elementa konstrukcije mogoče opisati z naslednjimi štirimi bistvenimi temperaturnimi komponentami oziroma spremembami, ki jih, za boljšo predstavo, prikažemo tudi na Sliki 1:

- a) Enakomerni del temperature spremembe, ΔT_u :
- b) Linearni del temperature spremembe glede na koordinatno os z prečnega prereza, ΔT_{My} :
- c) Linearni del temperature spremembe glede na koordinatno os y prečnega prereza, ΔT_{Mz} :
- d) Nelinearni del temperature spremembe, ΔT_E : njena posledica je vzpostavitev samouravnoteženih napetosti, ki ne povzročajo neto učinka obremenitve na element.



Slika 1: Porazdelitev temperature znotraj posameznega konstrukcijskega elementa [10]

Upoštevati moramo tudi, da so temperaturne deformacije in vse posledično nastale napetosti odvisne od geometrije in robnih pogojev obravnavanega konstrukcijskega elementa ter od fizikalnih lastnosti uporabljenega materiala. Ob uporabi konstrukcij, ki so grajene iz kompozitnih materialov z različnimi koeficienti linearnega raztezka, ne smemo zanemariti toplotih učinkov, ki so seveda lahko različni za posamezne komponente uporabljenih kompozitov.

3 TEMPERATURNI VPLIVI NA PREKLADNE KONSTRUKCIJE MOSTOV

Standard SIST EN 1991–1–5: 2004 [10] podaja natančne postopke za določitev temperaturnih vplivov oziroma poteka temperature v prekladnih konstrukcijah mostov. V nadaljevanju besedila bomo za ta standard uporabljali poimenovanje Evrokod.

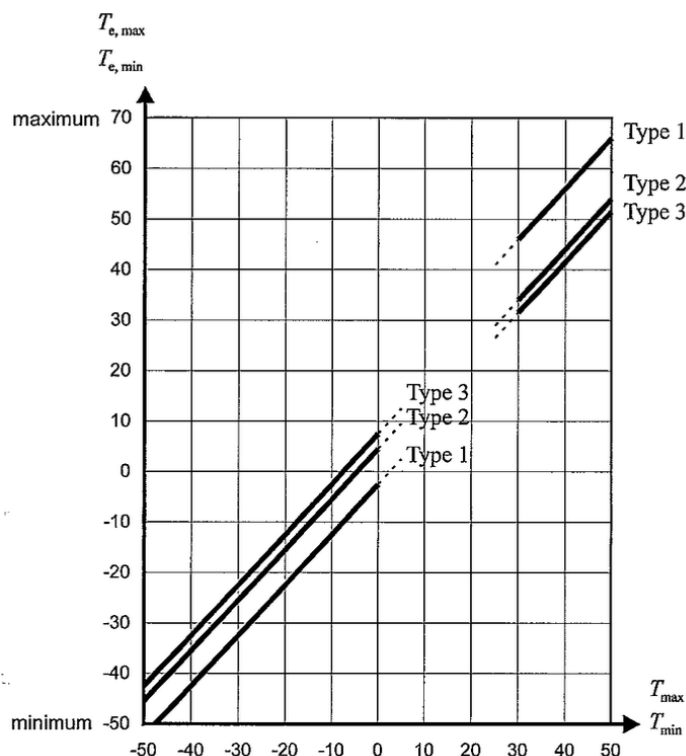
Evrokod [10] sprva definira upoštevanje toplotnih vplivov. Standard navaja, da je treba reprezentativne vrednosti toplotnih vplivov oceniti z enakomerno spremembo temperature in neenakomerno-linearno spremembo temperature. Linearni temperaturni gradient oziroma neenakomerni potek temperature je potrebno upoštevati tako v smeri vertikalne kot tudi horizontalne koordinatne osi prečnega prereza, pri čemer bi morala vertikalna komponenta vključevati nelinearno komponento (za dodatno razlago glej tudi poglavje 2.2). Vertikalni linearni temperaturni gradient je mogoče definiramo skladno s t.i. Pristopom 1 ali skladno s t.i. Pristopom 2, ki sta predstavljena v nadaljevanju v poglavjih 3.2.1 in 3.2.2. Horizontalni temperaturni gradient lahko obravnavamo kot linearen, če ni na voljo drugih informacij.

3.1 Enakomerna sprememba temperature

Evrokod [10] navaja, da je enakomerna sprememba temperature odvisna od najmanjše in največje temperature prekladne konstrukcije mostu. Posledica tega je razpon enakomernih sprememb temperature, ki bi povzročile spremembo dolžine elementa.

Po postopku, ki ga določa Evrokod [10] je potrebno predhodno določiti najnižjo temperaturo ozračja v senci ($T_{\min}$) in najvišjo temperaturo ozračja v senci ($T_{\max}$). Določimo ju na podlagi nacionalne karte izoterm, ki so prikazane v nacionalnem dodatku SIST EN 1991-1-5: 2004 Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi – Nacionalni dodatek [11].

Na podlagi ekstremnih vrednosti temperature zraka v senci ($T_{\min}$ in $T_{\max}$) določimo pripadajočo najnižjo temperaturo konstrukcije ($T_{e,\min}$) in najvišjo temperaturo konstrukcije ($T_{e,\max}$). Ti vrednosti sta lahko podani v nacionalnem dodatku k standardu [11], v primeru, da tega podatka nacionalni dodatek ne vsebuje, pa je, skladno z Evrokod [10] mogoče priporočene vrednosti odčitati iz naslednjega grafa:



Slika 2: Diagram za določitev najnižje in najvišje temperature konstrukcije, $T_{e,min}$ in $T_{e,max}$, v odvisnosti od minimalne in maksimalne temperature zraka v senci [10]

V diagramu je prikazana linearna povezava med minimalno in maksimalno temperaturo konstrukcije ter minimalno in maksimalno temperaturo zraka v senci. Medsebojna linearna odvisnost omenjenih temperatur je določena za tri različne tipe prekladnih konstrukcij:

- Tip1 (Type 1): krivulja za jeklene prekladne konstrukcije
- Tip 2 (Type 2): krivulja za sovprežne prekladne konstrukcije
- Tip 3 (Type 3): krivulja za betonske prekladne konstrukcije

Skladno z navodili standarda [10] je potrebno najprej določiti začetno temperaturo konstrukcije (T_0). To je temperatura v času vzpostavitve podpiranja oziroma povprečna temperatura v času njene gradnje. Vrednost povzamemo iz Priloge A, ki jo najdemo v Evrokodu 1991–1–5:2004 [10]. Začetno temperaturo (T_0) mostu potrebujemo, da lahko izračunamo kakšnemu največjemu padcu temperature ($|T_0 - T_{e,min}|$), oziroma največjemu porastu temperature ($|T_0 - T_{e,max}|$), bo obravnavana prekladna konstrukcija izpostavljena. Razumljivo je, da je posledica padca temperature prekladne konstrukcije njeno skrčenje, posledica porasta temperature pa raztezanje prekladne konstrukcije mostu. Največji enakomerni del temperaturne spremembe krčenja ($\Delta T_{N,con}$) izračunamo po enačbi:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} \quad (1)$$

in največji enakomerni del temperaturne spremembe raztezanja ($\Delta T_{N,exp}$) po enačbi:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 \quad (2)$$

Celotno območje enakomernega dela temperaturne spremembe prekladne konstrukcije je določeno z enačbo:

$$\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min} \quad (3)$$

3.2 Neenakomerna-linearna sprememba temperature (linearni temperaturni gradient)

Skladno z Evrokodom [10] je pri segrevanju in ohlajanju prekladne konstrukcije mostu potrebno upoštevati tudi situacijo, da temperaturi na zgornji in spodnji površini prekladne konstrukcije nista enaki. Navedeno je, na primer, lahko razumljiva posledica osončenja zgornjih površin mostu v poletnih mesecih in ohlajanja zgornjih površin mostu v zimskih mesecih. Razporeditev temperatur po višini prečnega prereza tako ni konstantna, Evrokod [10] podaja navodila za izračun linearnih oziroma nelinearnih razporeditev temperatur po višini prečnega prereza. Tovrstno razporeditev temperatur po prečnem prerezu se opiše s pomočjo t.i. vertikalnega temperaturnega gradienta.

Poleg vertikalnega, pa Evrokod [10] predpostavi tudi možnost upoštevanja horizontalnega temperaturnega gradienta, s pomočjo katerega je opisana neenakomerna sprememba temperatur v območju med obema bočnima robovoma prečnega prereza.

Evrokod [10] dopušča dva pristopa za določitev vertikalnega temperaturnega gradienta, kar je predstavljeno v nadaljevanju.

3.2.1 Pristop 1: Linearni potek temperatur v vertikalni smeri

Pri tej metodi se učinek temperaturnih razlik v vertikalni smeri upošteva z uporabo enakovrednih linearnih temperaturnih razlik $\Delta T_{M,heat}$ in $\Delta T_{M,cool}$. Ti vrednosti predstavljata razliko med temperaturama zgornje in spodnje površine prekladne konstrukcije mostu. Pri tem $\Delta T_{M,heat}$ opiše slučaj, ko je zgornja površina prekladne konstrukcije toplejša kot spodnja ter $\Delta T_{M,cool}$ slučaj, ko je spodnja površina prekladne konstrukcije toplejša kot zgornja. Kot navaja Evrokod [10] naj bi bile vrednosti $\Delta T_{M,heat}$ in $\Delta T_{M,cool}$ navedene v nacionalni prilogi k standardu [11]. Če jih ta ne podaja, jih je mogoče odčitati iz preglednice standarda Evrokod [10] v nadaljevanju.

Preglednica 1: Priporočene vrednosti linearnega dela temperaturne spremembe v vertikalni smeri prekladne konstrukcije mostu [10]

Table 6.1: Recommended values of linear temperature difference component for different types of bridge decks for road, foot and railway bridges

Type of Deck	Top warmer than bottom	Bottom warmer than top
	$\Delta T_{M,heat} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{M,cool} (^{\circ}C)$
Type 1: Steel deck	18	13
Type 2: Composite deck	15	18
Type 3: Concrete deck: - concrete box girder - concrete beam - concrete slab	10 15 15	5 8 8
NOTE 1: The values given in the table represent upper bound values of the linearly varying temperature difference component for representative sample of bridge geometries. NOTE 2: The values given in the table are based on a depth of surfacing of 50 mm for road and railway bridges. For other depths of surfacing these values should be multiplied by the factor k_{sur} . Recommended values for the factor k_{sur} is given in Table 6.2.		

Do razlik v vrednostih pride zaradi vpliva debeline vozišča in vpliva sončnega sevanja, ki deluje na zgornjo površino prekladne konstrukcije.

3.2.2 Pristop 2: Potek temperatur v vertikalni smeri z upoštevanjem nelinearnih učinkov

Pri tem pristopu Evrokod [10] učinek vertikalnih temperaturnih razlik upošteva z vključitvijo nelinearne komponente temperaturne razlike. Tudi v tem primeru standard [10] v opombi navede, da naj bi bile vrednosti nelinearnih vertikalnih temperaturnih razlik podane v nacionalnem dodatku standarda [11]. V slučaju, da jih nacionalni dodatek ne navaja, se uporabijo priporočene vrednosti iz Evrokoda [10], ki so podane v naslednji preglednici:

Preglednica 2: Priporočene vrednosti nelinearnega temperaturnega gradienta v vertikalni smeri armiranobetonske prekladne konstrukcije mostu [10]

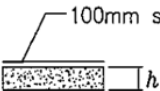
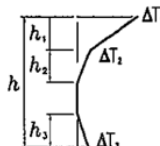
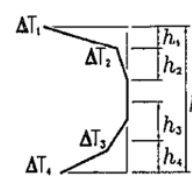
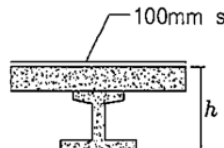
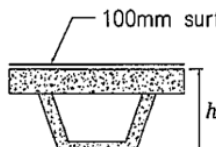
Type of Construction	Temperature Difference (ΔT)																																																																	
	(a) Heating	(b) Cooling																																																																
 3a. Concrete slab	 $h_1 = 0.3h$ but $\leq 0.15m$ $h_2 = 0.3h$ but $\geq 0.10m$ but $\leq 0.25m$ $h_3 = 0.3h$ but $\leq (0.10m + \text{surfacing depth in metres})$ (for thin slabs, h_3 is limited by $h - h_1 - h_2$) <table><thead><tr><th>h</th><th>ΔT_1</th><th>ΔT_2</th><th>ΔT_3</th></tr></thead><tbody><tr><td>m</td><td></td><td>$^{\circ}C$</td><td></td></tr><tr><td>≤ 0.2</td><td>8.5</td><td>3.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>0.4</td><td>12.0</td><td>3.0</td><td>1.5</td></tr><tr><td>0.6</td><td>13.0</td><td>3.0</td><td>2.0</td></tr><tr><td>≥ 0.8</td><td>13.0</td><td>3.0</td><td>2.5</td></tr></tbody></table>	h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	m		$^{\circ}C$		≤ 0.2	8.5	3.5	0.5	0.4	12.0	3.0	1.5	0.6	13.0	3.0	2.0	≥ 0.8	13.0	3.0	2.5	 $h_1 = h_4 = 0.20h$ but $\leq 0.25m$ $h_2 = h_3 = 0.25h$ but $\leq 0.20m$ <table><thead><tr><th>h</th><th>ΔT_1</th><th>ΔT_2</th><th>ΔT_3</th><th>ΔT_4</th></tr></thead><tbody><tr><td>m</td><td></td><td>$^{\circ}C$</td><td></td><td></td></tr><tr><td>≤ 0.2</td><td>-2.0</td><td>-0.5</td><td>-0.5</td><td>-1.5</td></tr><tr><td>0.4</td><td>-4.5</td><td>-1.4</td><td>-1.0</td><td>-3.5</td></tr><tr><td>0.6</td><td>-6.5</td><td>-1.8</td><td>-1.5</td><td>-5.0</td></tr><tr><td>0.8</td><td>-7.6</td><td>-1.7</td><td>-1.5</td><td>-6.0</td></tr><tr><td>1.0</td><td>-8.0</td><td>-1.5</td><td>-1.5</td><td>-6.3</td></tr><tr><td>≥ 1.5</td><td>-8.4</td><td>-0.5</td><td>-1.0</td><td>-6.5</td></tr></tbody></table>	h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4	m		$^{\circ}C$			≤ 0.2	-2.0	-0.5	-0.5	-1.5	0.4	-4.5	-1.4	-1.0	-3.5	0.6	-6.5	-1.8	-1.5	-5.0	0.8	-7.6	-1.7	-1.5	-6.0	1.0	-8.0	-1.5	-1.5	-6.3	≥ 1.5	-8.4	-0.5	-1.0	-6.5
h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3																																																															
m		$^{\circ}C$																																																																
≤ 0.2	8.5	3.5	0.5																																																															
0.4	12.0	3.0	1.5																																																															
0.6	13.0	3.0	2.0																																																															
≥ 0.8	13.0	3.0	2.5																																																															
h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4																																																														
m		$^{\circ}C$																																																																
≤ 0.2	-2.0	-0.5	-0.5	-1.5																																																														
0.4	-4.5	-1.4	-1.0	-3.5																																																														
0.6	-6.5	-1.8	-1.5	-5.0																																																														
0.8	-7.6	-1.7	-1.5	-6.0																																																														
1.0	-8.0	-1.5	-1.5	-6.3																																																														
≥ 1.5	-8.4	-0.5	-1.0	-6.5																																																														
 3b. Concrete beams																																																																		
 3c. Concrete box girder																																																																		

Figure 6.2c: Temperature differences for bridge decks – Type 3 : Concrete Decks

*Note: The temperature difference ΔT incorporates ΔT_u and ΔT_c (see 4.3) together with a small part of component ΔT_w ; this latter part has been included in the uniform bridge temperature component (see 6.1.3).

V preglednici je prikazan nelinearen potek temperature po višini armiranobetonske prekladne konstrukcije. Termin »Heating« oziroma segrevanje se nanaša na primer, ko npr. segrevanje zaradi osončenja in drugih vplivov povzroča segrevanje prečnega prereza preko zgornje površine prekladne konstrukcije. »Cooling« oziroma ohlajanje pa pomeni ravno nasprotno, torej, ko se zgornja površina prekladne konstrukcije ohlaja.

3.2.3 Neenakomerna razporeditev temperatur v horizontalni smeri

Evrokod [10] navaja, da je neenakomerno razporeditev temperatur v horizontalni smeri prečnega prereza prekladne konstrukcije mostu potrebno upoštevati le v posebnih primerih, kot npr. v primeru posebne usmerjenosti in/ali zasnove mostu pri kateri je ena izmed bočnih stranic prekladne konstrukcije bolj izpostavljena osončenju kot druga. V opombi standarda [10] je omenjeno, da naj bi bile vrednosti temperaturnih gradientov podane v nacionalnem dodatku k omenjenemu standardu [11]. Če teh podatkov v nacionalni prilogi ni, standard [10] priporoča, da se upošteva linearna razporeditev temperature med bočnima stranicama prekladne konstrukcije z razliko 5 °C, neodvisno od širine prekladne konstrukcije mostu.

3.3 Sočasno delovanje enakomerne temperaturne spremembe in linearnega temperaturnega gradienta

Ob sočasnem upoštevanju linearnega dela temperaturne spremembe $\Delta T_{M,heat}$ (ali $\Delta T_{M,cool}$) in območja enakomerne dela temperaturne spremembe mostu $\Delta T_{N,exp}$ (ali $\Delta T_{N,con}$) je, skladno s priporočili standarda Evrokod [10], potrebno upoštevati naslednje izraze oziroma kombinacije temperaturnih obtežb:

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (ali } \Delta T_{M,cool} \text{)} + \omega_N * \Delta T_{N,exp} \text{ (ali } \Delta T_{N,exp} \text{)} \quad (4)$$

ali

$$\omega_M * \Delta T_{M,heat} \text{ (ali } \Delta T_{M,cool} \text{)} + \Delta T_{N,exp} \text{ (ali } \Delta T_{N,exp} \text{)} \quad (5)$$

Vrednosti faktorjev ω_N in ω_M je mogoče poiskati v nacionalnem dodatku k standardu Evrokod [11]. V primeru, da nacionalni dodatek ne podaja vrednosti teh faktorjev, standard [10] priporoča uporabo naslednjih vrednosti:

$$\omega_N = 0,35 \quad (6)$$

$$\omega_M = 0,75 \quad (7)$$

V izračunih temperaturnih obtežb prekladnih konstrukcij mostov je potrebno upoštevati najbolj neugodno kombinacijo sočasnega delovanja enakomerne dela in neenakomerne dela temperaturne spremembe. Glede na predlagano število enačb (enačbi (4) in (5)) ter faktorjev ω_N in ω_M je v splošnem mogoče upoštevati osem različnih kombinacij temperaturnih obtežb.

Kadar se uporabijo tako linearne kot tudi nelinearne temperaturne spremembe (glej poglavje 3.2.2) moramo ΔT_M zamenjati z ΔT , ki vključuje spremembe ΔT_M in ΔT_E .

»Ta stran je namenoma prazna.«

4 VPLIV TEMPERATURE NA MOSTNE OPORNIKE IN OSTALE DELNO VKOPANE KONSTRUKCIJE

V tem poglavju sta predstavljeni dve metodi izračuna temperaturnih obtežb v mostnih opornikih ter ostalih delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcijah in sicer po standardu SIST EN 1991-1-5:2004 [10] ter tehnični smernici ZTV-ING 2012 [14]. Podana je tudi primerjava obeh predstavljenih metod.

4.1 Računska metoda skladno s standardom SIST EN 1991-1-5: 2004 (Evrokod) [10]

Evrokod [10] navaja, da je v postopkih načrtovanja konstrukcij potrebno upoštevati tudi temperaturne obtežbe tako votlih kot polnih stebrov mostov. Temperaturne obtežbe se upoštevajo kot temperaturne razlike oziroma kot različne vrednosti temperatur na nasprotiležnih obodnih površinah stebrov. V opombi standard [10] utemelji, da naj bi bil postopek projektiranja za posamezno državo naveden v nacionalnem dodatku k standardu [11]. V primeru, da nacionalni dodatek postopka ne navaja, Evrokod [10] predpostavi linearno temperaturno spremembo po prečnem prerezu stebra mostu. Standard [10] navaja tudi, da je potrebno upoštevati obremenitve v stebrih zaradi preprečenih ali omejenih deformacij okoliških konstrukcij ali deformacije s stebri povezanih konstrukcij.

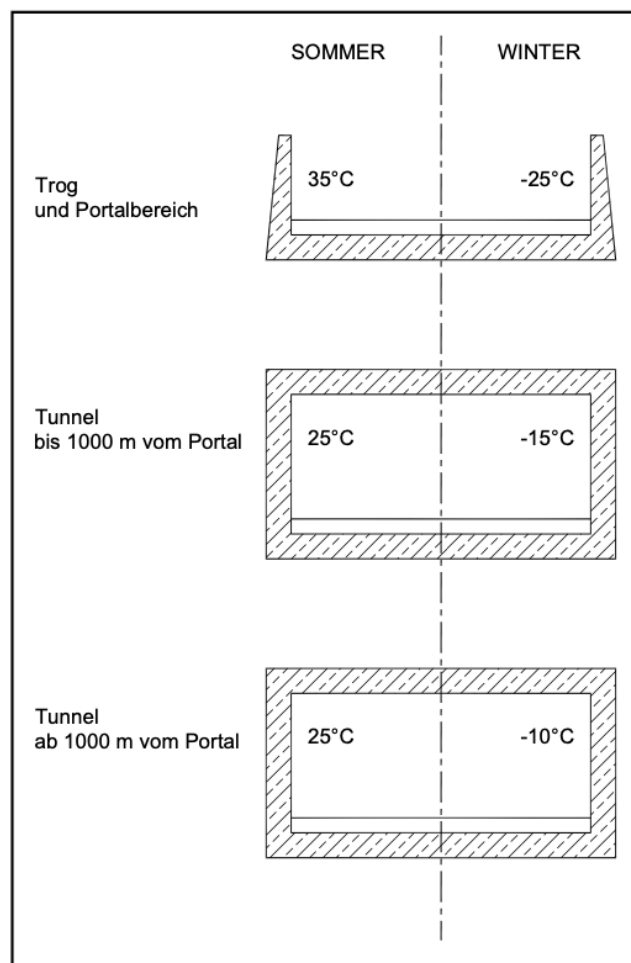
Tako točka 6.2.2 standarda Evrokod [10] navaja, da je za votle ali polne stebre mostov potrebno upoštevati linearen potek temperatur med nasprotiležnima zunanjsima površinama stebrov. Vrednost linearne temperaturne spremembe naj bi bil določena v nacionalnem dodatku k standardu, če podatek ni naveden, znaša priporočena vrednost linearnega poteka temperaturne spremembe $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Podobna priporočila podaja standard [10] tudi za armiranobetonske stene. Predpostavljen je linearen potek temperatur med nasprotiležnima površinama stene. Vrednost linearne temperaturne razlike naj bi določal nacionalni dodatek standarda [11], če podatek v nacionalnem dodatku ni naveden, znaša priporočena vrednost linearnega poteka temperaturne spremembe $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

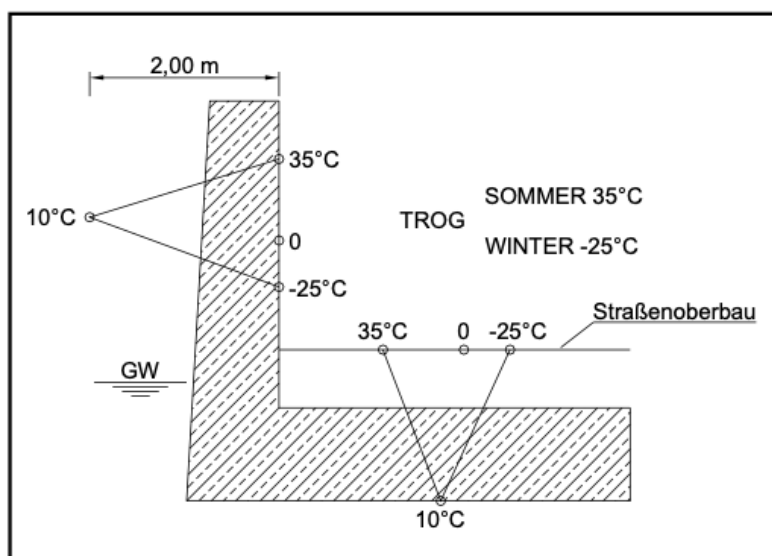
4.2 Računska metoda skladno s tehnično smernico ZTV-ING 2012 [14]

Nemška tehnična smernica ZVT-ING 2012 [14], kot je prikazano na Sliki 3 v nadaljevanju, podaja vrednosti temperatur notranjih površin vkopanih oziroma delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcij, ki naj bi bile upoštevane v postopkih dimenzioniranja tovrstnih konstrukcij. Ta priporočila veljajo v splošnih primerih, mogoče pa je, da posebni konstrukcijski pogoji zahtevajo tudi natančnejše pristope.

Tehnična smernica [14] navaja, da je mogoče v prečnih prerezih predpostaviti linearen potek temperature. V primeru, da konstrukcijski element ni izpostavljen delovanju podzemnih vod, je mogoče upoštevati, da so na oddaljenosti 2,00 m od proste armiranobetonske površine vzpostavljene konstantne temperaturne razmere, s temperaturo okoljne hribine $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Če je konstrukcijski element izpostavljen vplivom delovanja podzemnih vod, se konstantne temperaturne razmere s temperaturo okoljne hribine $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vzpostavijo na vkopani, torej zaledni, strani konstrukcijskega elementa.



Slika 3: Temperature na notranjih površinah vkopanih oziroma delno vkopanih armiranobetonskih konstrukcij [14]



Slika 4: Potek temperaturnih obremenitev v prečnem prerezu vkopane ali delno vkopane armiranobetonske konstrukcije [14]

4.3 Primerjava predstavljenih metod

Metoda, ki jo navaja Evrokod [10], je sicer precej enostavna, vendar jo ocenjujem kot pomanjkljivo. Predpostavlja le linearen potek temperatur preko debeline mostnega opornika oziroma podobnih delno vkopanih konstrukcij. Temperaturna razlika na nasprotiležnih površinah armiranobetonskih sten naj bi znašala 15 °C. Evrokod [10] ne upošteva sprememb temperatur zaradi spremembe letnih časov, vpliva podzemnih vod, prav tako ne upošteva geometrijskih značilnosti konstrukcije ter vplivov zasipnega materiala tovrstnih konstrukcijskih elementov.

Nemška tehnična smernica [14], sicer podobno kot Evrokod [10], predpostavi linearen potek temperatur preko debeline mostnega opornika. V nasprotju z Evrokodom [10] pa upošteva vpliv različnih temperatur glede na letni čas. Poletna temperatura prostih površin armiranobetonskih sten naj bi znašala 35 °C, zimska pa -25 °C. Tehnična smernica [14] pa upošteva tudi vpliv podzemnih vod, ki so jim tovrstne konstrukcije lahko izpostavljene. V poletih mesecih podzemna voda »ohladi« vkopane površine konstrukcije na 10 °C, pozimi pa jo »segreje« do te temperature. Ob odsotnosti podzemne vode tehnična smernica [14] predpostavi, da so na oddaljenosti 2,00 m od proste armiranobetonske površine vzpostavljene konstantne temperaturne razmere, s temperaturo okoljne hribine 10 °C.

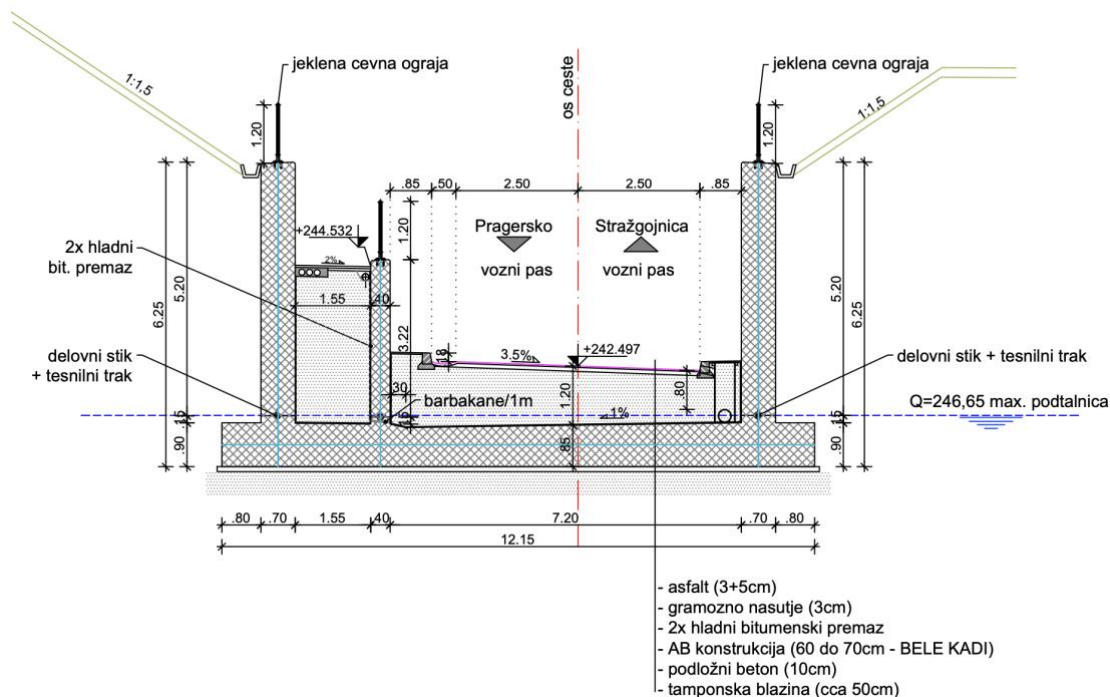
»Ta stran je namenoma prazna«

5 RAČUNSKI PRIMER

Z računskim primerom preverimo, kako različno določena temperaturna obtežba (Evrokod [10] ali nemška tehnična smernica [14]) vpliva na odziv deloma zasute konstrukcije. V ta namen smo si izbrali konstrukcijo na območju naselja Pragersko. Gre za armiranobetonsko kesonsko konstrukcijo, ki poteka pod železnico, pri čemer je karakteristični prečni profil povzet po dejanskem projektu. Ustrezno linearno statično analizo izvedemo v programu Sofistik, pri čemer smo, kot omenjeno, najprej izvedli analizo ob upoštevanju temperaturne obtežbe skladno z Evrokomodom [10], nato pa še skladno z nemško tehnično smernico ZTV-ING 2012 [14].

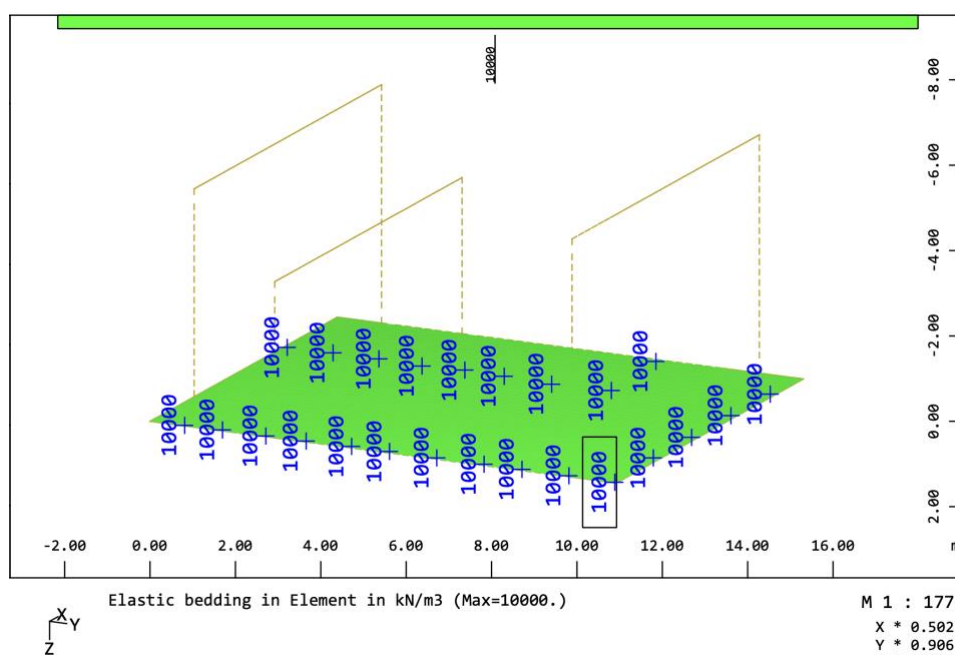


Slika 5: Konstrukcija uporabljena za računski primer [3]

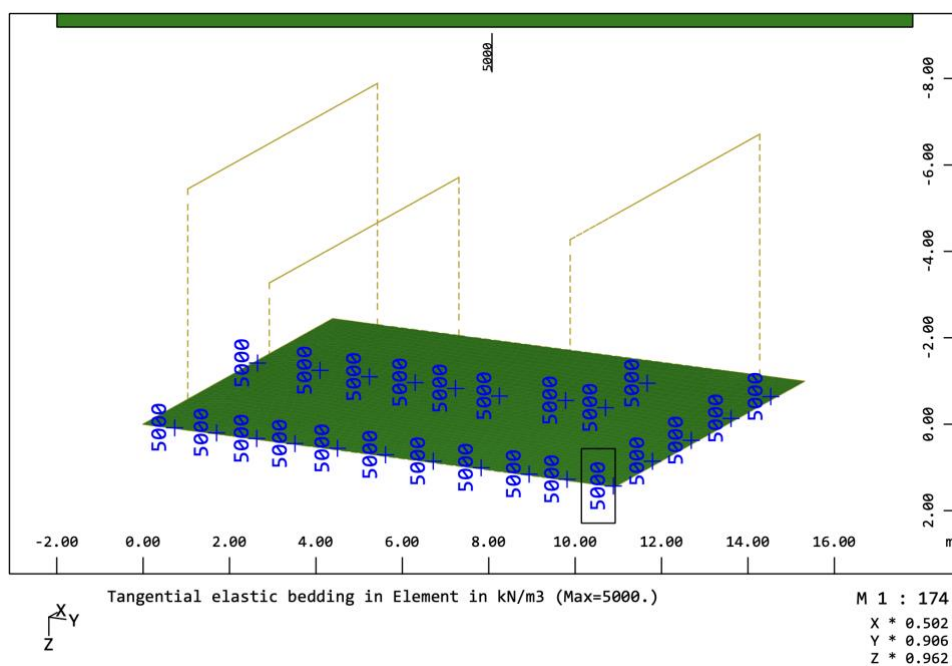


Slika 6: Karakteristični prečni prerez obravnavane konstrukcije

V računskem modelu, stene in talno ploščo modeliramo s ploskovnimi končnimi elementi. Podpiranje izvedemo z elastičnim površinskimi podporami temeljne plošče v vertikalni in horizontalni smeri. Model temeljnih tal upoštevamo kot Winklerjev polprostor, kar pomeni, da togost in obnašanje zemljine modeliramo z elastičnimi vzmetmi, katerih togost je določena na podlagi modula reakcije tal. Za vertikalno togost ocenimo vrednost $K_v = 10000 \text{ kN/m}^3$, za horizontalno togost pa upoštevamo 50% vertikalne togosti, torej je $K_h = 5000 \text{ kN/m}^3$.



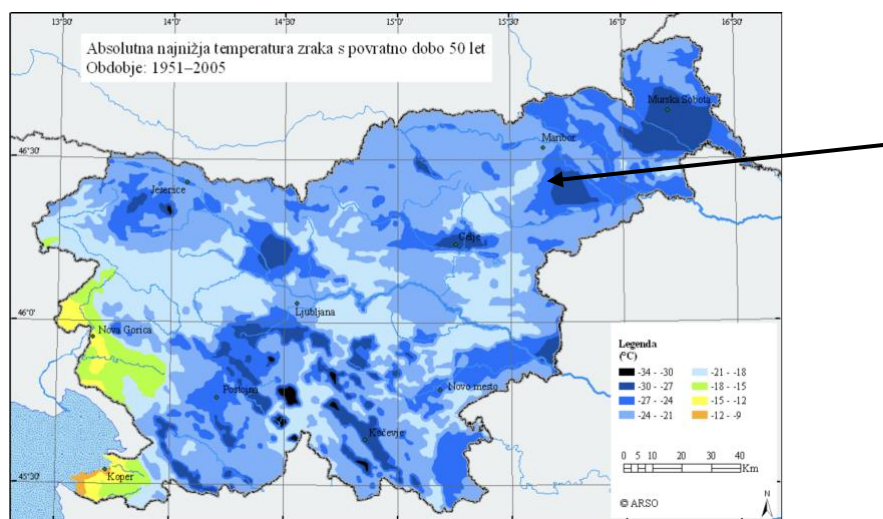
Slika 7: Vertikalna togost tal



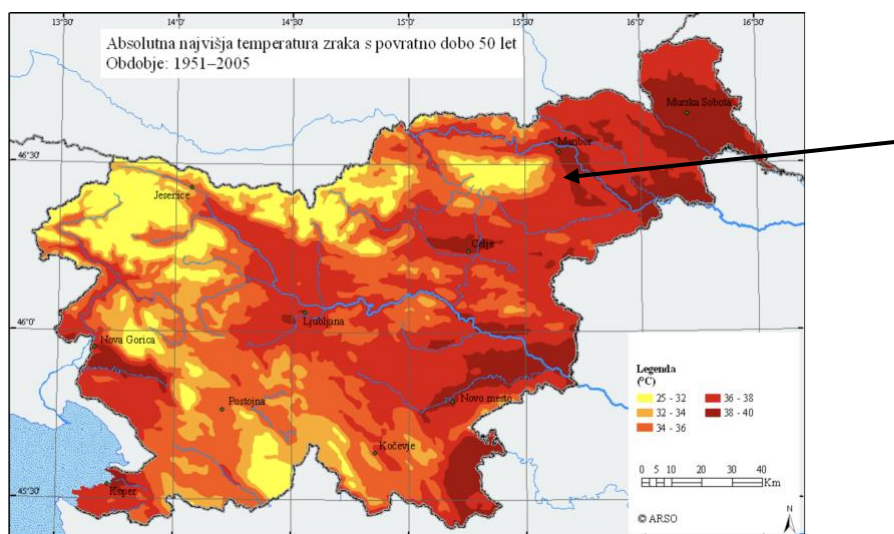
Slika 8: Horizontalna togost tal

V izračunu upoštevamo tudi mejni vpliv temperature, ki povzroči mikrorazpoke v prerezu. To pomeni, da se pojavi redukcija togosti in temu ustrezen padec notranjih sil. V našem primeru smo redukcijo togosti upoštevali skladno z nemško tehnično smernico za mostove DIN-Fachbericht 102:2009-03 (102)P [4], ki pri temperaturni obtežbi upošteva razpokanost prereza s 60% togostjo nerazpokanega prereza. V našem računskem primeru smo ta vpliv upoštevali s korekcijo obtežnega faktorja varnosti $\gamma_f = 1,50 \times 0,6 = 0,90$.

Za izračun vpliva temperature je potrebno določiti najnižjo in najvišjo temperaturo ozračja okolice v senci. Pri tem nemška tehnična smernica [14] za najnižjo in najvišjo temperaturo ozračja okolice v senci privzame vrednosti 35 °C (poleti) oziroma -25 °C (pozimi), ne glede na lokacijo objekta, kar pa v naših izračunih želimo upoštevati. Tako vrednosti najnižje in najvišje temperature ozračja v senci odčitamo iz karte absolutno najnižje/najvišje temperature zraka s povratno dobo 50 let. Obe karti sta dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje [7].



Slika 9: Karta absolutno najnižje temperature zraka s povratno dobo 50 let [7]



Slika 10: Karta absolutno najvišje temperature zraka s povratno dobo 50 let [7]

Iz kart odčitamo: $T_{\min} = -27\text{ °C}$ in $T_{\max} = 37\text{ °C}$.

Ob tem moramo upoštevati, da skladno z Evrokod 0 [8], zahteva za življensko dobo obravnavanega objekta znaša 100 let. Ker so $T_{\max}$ in $T_{\min}$ določene na podlagi povratne dobe 50 let, jih je potrebno ustrezno korigirati. Korekcija je izvedena v skladu s SIST EN 1991-1-5: 2004 (sl) [11], Annex A, točka A.2. Vrednosti temperatur $T_{\max}$ in $T_{\min}$ z upoštevanjem korekcije (100-letna povratna doba) znašata: $T_{\min} = -30\text{ °C}$ in $T_{\max} = 38\text{ °C}$.

5.1 Vpliv temperature po ZTV-ING

Vpliv oziroma potek temperature smo upoštevali po metodi definirani v nemški smernici [14]. S pomočjo programa Excel smo določili temperature konstrukcije na treh pozicijah posameznih elementov kesona, za izračun smo upoštevali predpostavljen model temperature, ki je prikazan na Sliki 11. Potek temperature smo posebej določili za primer vpliva $T_{\max}$ in $T_{\min}$ (poletni/zimski čas).

Temperaturno polje smo v programu določili, tako da smo najprej s pomočjo linearne interpolacije določili temperature T_1 , T_2 , T_3 in T_4 . To so temperature posameznih elementov kesona na zaledni strani elementov, kot je prikazano na Sliki 11.

Nato smo izračunali povprečno temperaturo T_{aver} . Za poletni oziroma zimski čas (vpliv $T_{\max}$ oz. $T_{\min}$) smo povprečno temperaturo za vertikalne elemente brez podtalne vode (zunanjo in notranjo steno) izračunali po enačbi:

$$T_{\text{aver}} = \frac{T_{\min} + T_i}{2}; i = 1, 2. \quad (8)$$

Za horizontalne elemente s podtalno vodo (temeljna plošča) smo povprečno temperaturo za poletno/zimski čas izračunali po enačbi:

$$T_{\text{aver}} = \frac{T + T_i}{2}; i = 3, 4. \quad (9)$$

Nato smo temperaturno polje razdelili na dve komponenti: konstantno komponento ΔT_N in linearno komponento ΔT_M . Pri obeh komponentah smo upoštevali in predpostavili začetno temperaturo konstrukcije $T_0 = 10\text{ °C}$. Konstantno komponento smo ob vplivu $T_{\min}$ izračunali po enačbi:

$$\Delta T_{N,\min} = T_{\text{aver}} - T_0 \quad (10)$$

ob vplivu $T_{\max}$ pa po enačbi:

$$\Delta T_{N,\max} = T_0 - T_{\text{aver}} \quad (11)$$

Za vertikalne elemente brez podtalne vode (zunanjo in notranjo steno) smo linearno komponento ob vplivu $T_{\min}$ izračunali po enačbi:

$$\Delta T_{M,\min} = T_{\min} - T_i ; i = 1,2 \quad (12)$$

ob vplivu $T_{\max}$ pa po enačbi:

$$\Delta T_{M,\max} = T_{\max} - T_i ; i = 1,2 \quad (13)$$

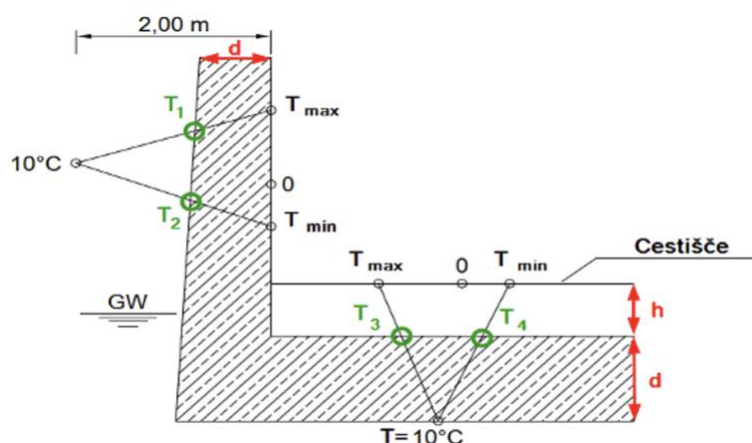
Za horizontalne elemente s podtalno vodo (temeljna plošča) smo linearno komponento ob vplivu $T_{\min}$ izračunali po enačbi:

$$\Delta T_{M,\min} = T - T_i ; i = 3,4, \quad (14)$$

ob vplivu $T_{\max}$ po enačbi:

$$\Delta T_{M,\max} = T - T_i ; i = 3,4. \quad (15)$$

Temperaturno polje smo na Sliki 11 s pomočjo programa Excel prikazali tabelarično, na Sliki 12 in Sliki 13 pa grafično.



Temperature:

Tmax	+38,0 °
Tmin	-30,0 °

Ttal = T	10	...temperatura tal
T ₀	10	...začetna temperatura konstrukcije

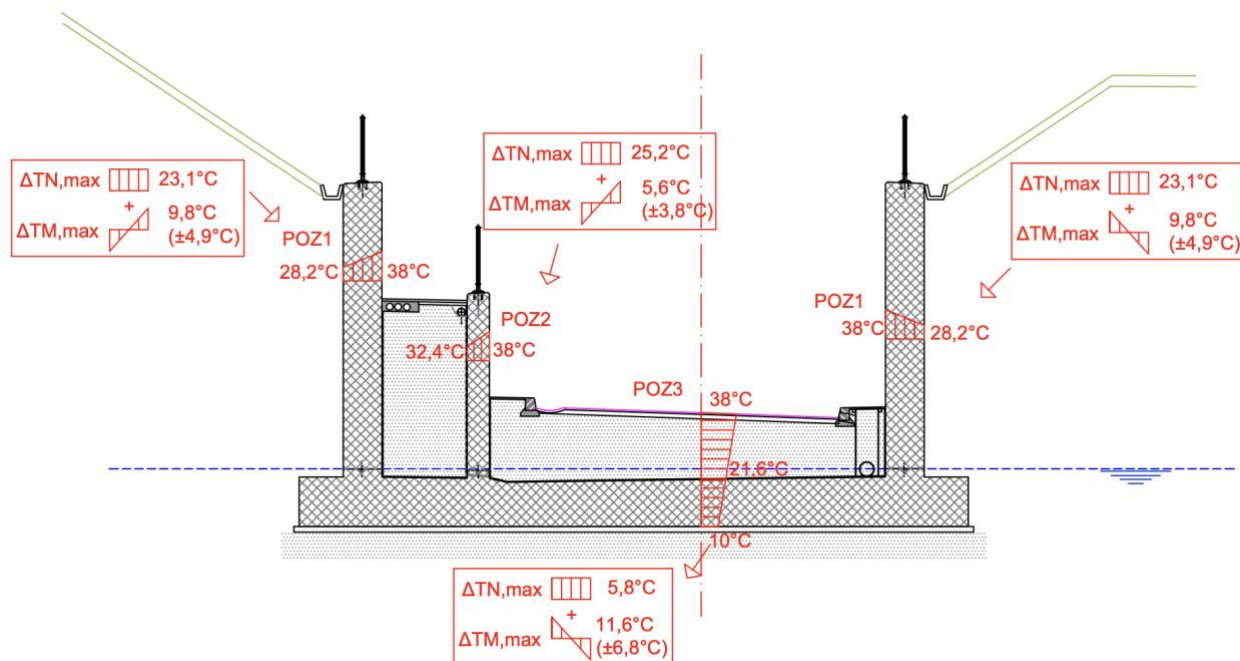
Vertikalni elementi brez podtalne vode

ime/pozicija	debelina d [m]	poletje					zima				
		Tmax [°C]	T1 [°C]	Taver [°C]	ΔTN,max [°C]	ΔTM,max [°C]	Tmin [°C]	T2 [°C]	Taver [°C]	ΔTN,min [°C]	ΔTM,min [°C]
poz 1 - zunanja stena	0,70	+38,0	+28,2	+33,1	+23,1	+9,8	-30,0	-16,0	-23,0	-33,0	-14,0
poz 2 - notranja stena	0,40	+38,0	+32,4	+35,2	+25,2	+5,6	-30,0	-22,0	-26,0	-36,0	-8,0

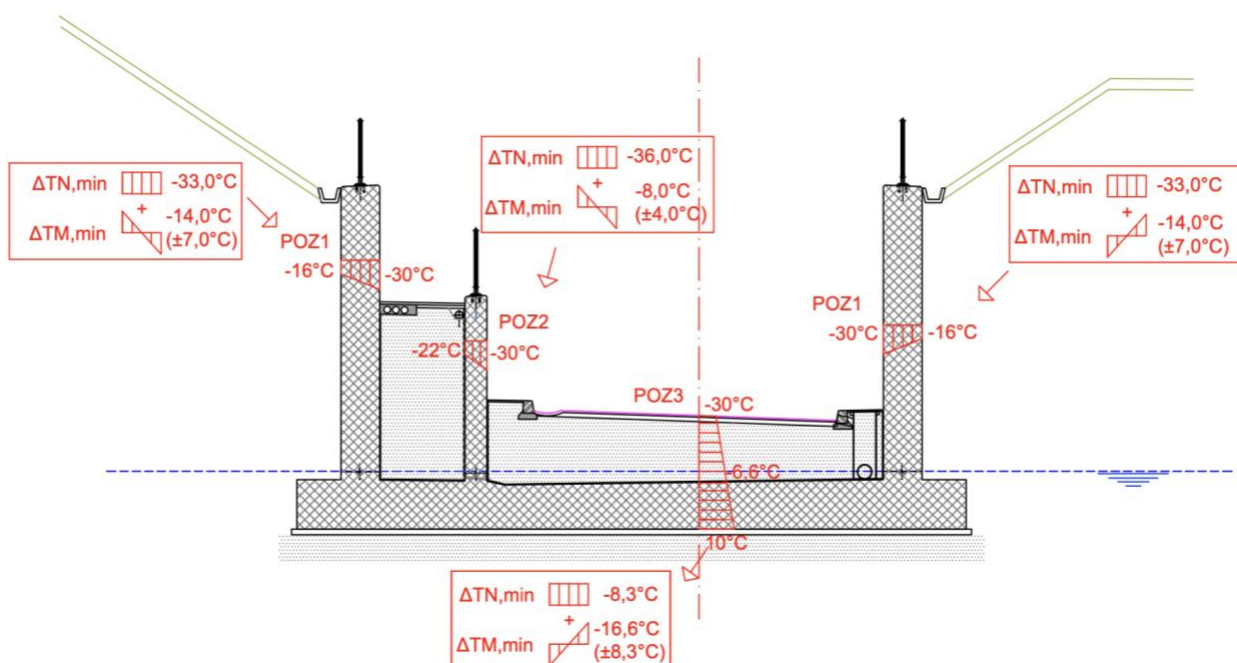
Horizontalni elementi s podtalno vodo

ime/pozicija	debelina		poletje					zima				
	d [m]	h [m]	T [°C]	T3 [°C]	Taver [°C]	ΔTN,max [°C]	ΔTM,max [°C]	T [°C]	T4 [°C]	Taver [°C]	ΔTN,min [°C]	ΔTM,min [°C]
poz 3 - temeljna plošča	0,85	1,20	+10,0	+21,6	+15,8	+5,8	+11,6	+10,0	-6,6	+1,7	-8,3	-16,6

Slika 11: Izračun poteka temperature po posameznih elementih kesonske konstrukcije



Slika 12: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona, poletni čas (vpliv T_{max} po ZTV-ING [14])



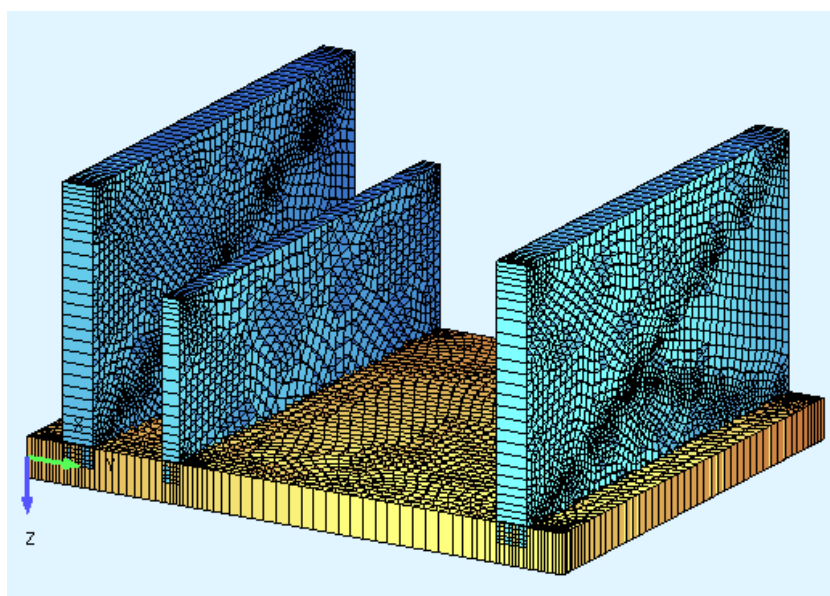
Slika 13: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona, zimski čas (vpliv T_{min} po ZTV-ING [14])

Slika 15: Linearen potek temperature skozi posamezne dele kesona ob vplivu $\Delta T_{M,cool}$ po EC

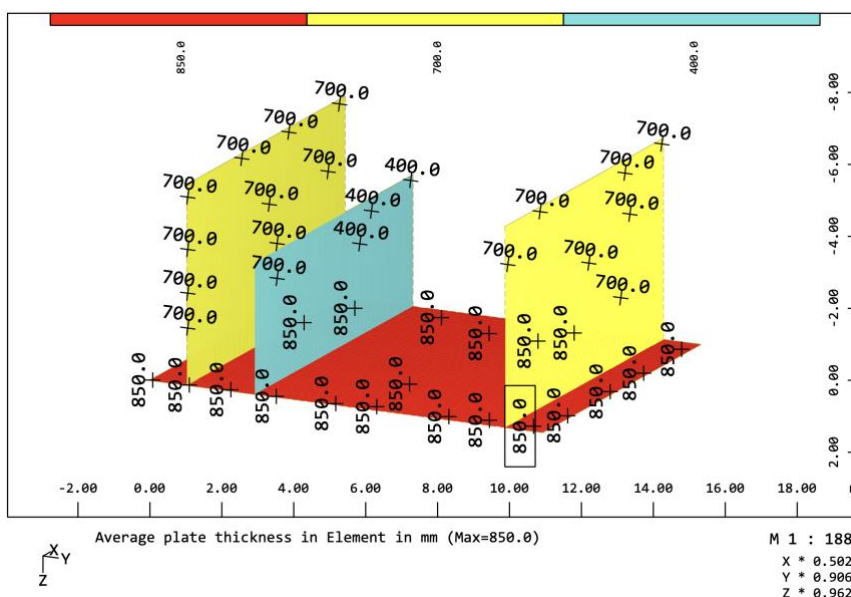
»Ta stran je namenoma prazna«

6 REZULTATI

V tem poglavju so predstavljeni rezultati statične analize na računskem primeru, izvedeni v programu Sofistik. Statično analizo smo izvedli ob upoštevanju temperaturne obtežbe določene po Evrokodu [10] in po ZTV-ING [14]. Ob tem smo upoštevali samo vpliv lastne teže in temperaturne obtežbe, saj smo želeli bolj nazorno prikazati razliko med načini upoštevanja temperaturnega vpliva v Evrokodu [10] in smernici ZTV-ING [14]. Obtežbi smo skladno s standardom SIST EN 1990:2004 [8] združili v kombinacijo za mejno stanje nosilnosti. Kot pa je navedeno v poglavju 5 smo upoštevali tudi redukcijo togosti zaradi nastanka mikrorazpok v prerezu. Rezultate smo nato primerjali. Primerjavo smo naredili za notranje statične količine (osne sile in upogibne moment) ter za računsko potrebno količino armature. V izračunu smo upoštevali 10 m dolgo konstrukcijo, kar predstavlja tipično fazo gradnje.



Slika 16: Model konstrukcije v programu Sofistik

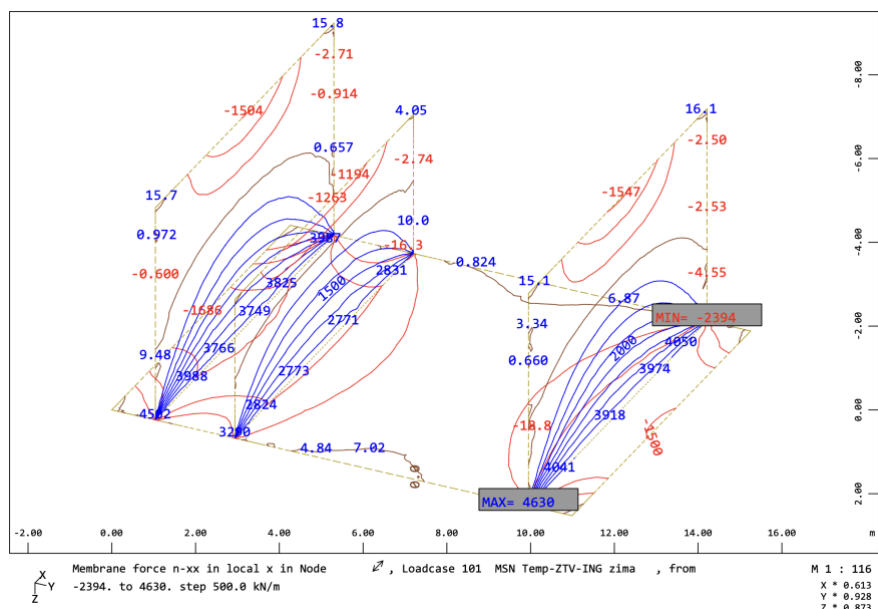


Slika 17: Prikaz debelin konstrukcijskih elementov računskega modela

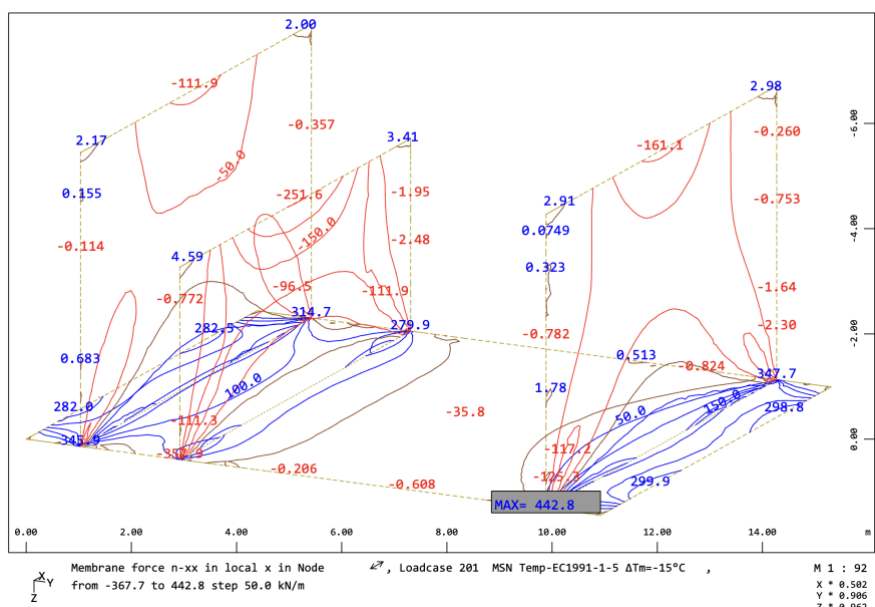
6.1 Notranje statične količine

6.1.1 Osne sile

6.1.1.1 n_{xx} – osna sila v smeri lokalne osi x posameznega elementa kesona

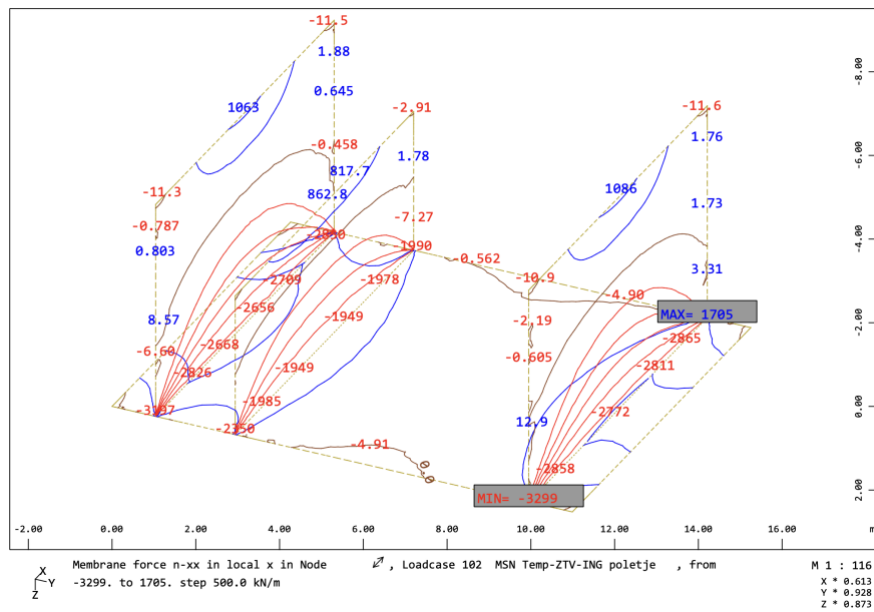


Slika 18: Osna sila n_{xx} po metodi ZTV-ING – zima

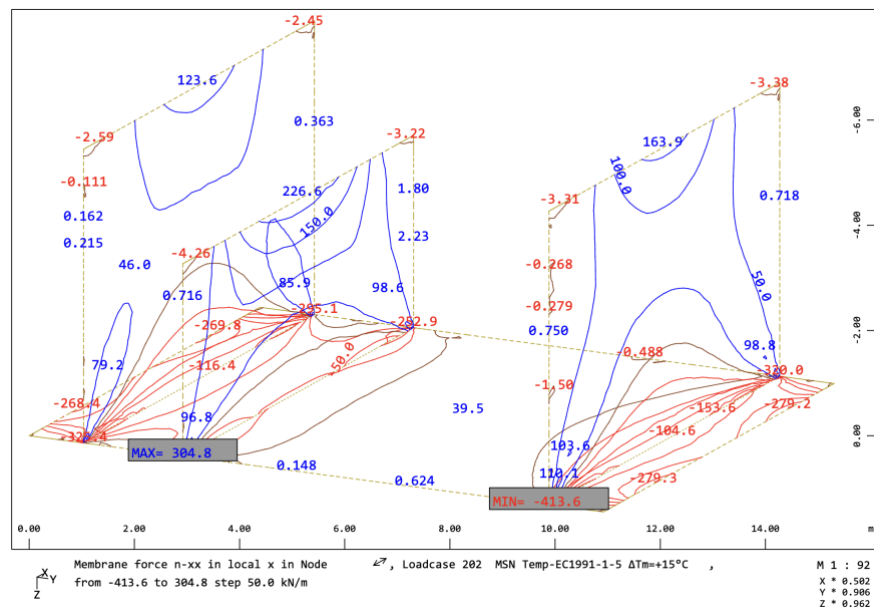


Slika 19: Osna sila n_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima

V zimskih mesecih osna sila n_{xx} v smeri lokalne x osi posameznega elementa kesona, izračunana ob upoštevanju obtežbe skladno z Evrokodom [10], dosega v absolutnem smislu precej manjše vrednosti, kot osna sila, izračunana po ZTV-ING [14]. Razlike v vrednostih nastanejo zaradi neupoštevanja enakomerne dela temperaturne spremembe v Evrokodu [10]. S tem standard ne upošteva, da se konstrukcija krči oziroma razteza v svoji ravnini, kar bistveno vpliva na nivo osne sile.



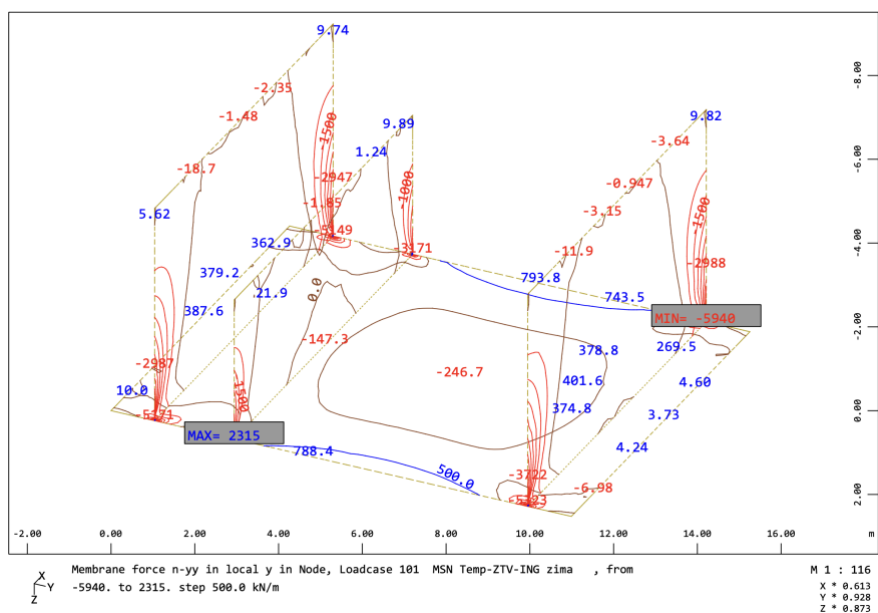
Slika 20: Osnova sila n_{xx} po metodi ZTV-ING – poletje



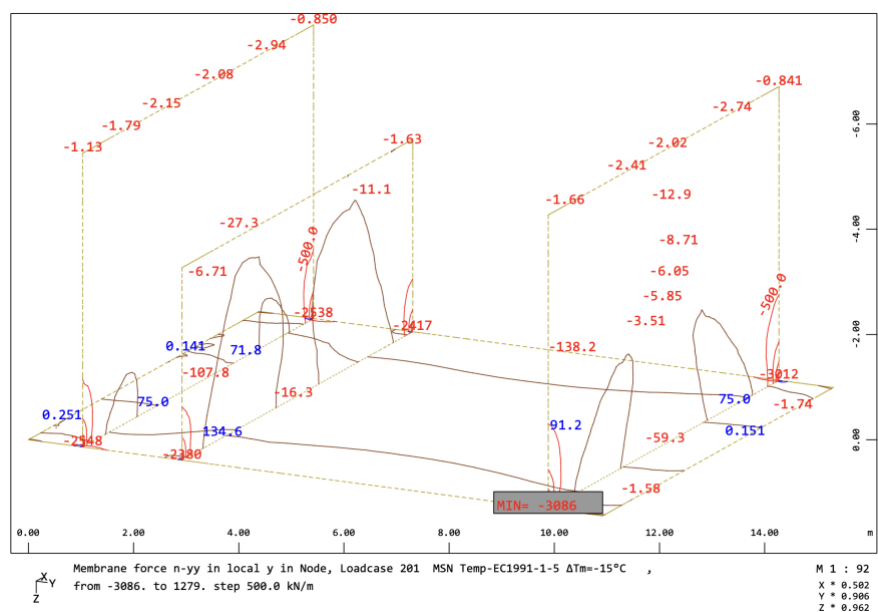
Slika 21: Osnova sila n_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje

Podobne zaključke kot za zimski čas opazimo tudi v razporedu in velikostnem razredu notranjih sil n_{xx} tudi za poletni čas. Velikostni razred notranje sile je bistveno višji v primeru obtežbe skladno s ZTV-ING [14] kakor v primeru obtežbe določene skladno z Evrokodom [10].

6.1.1.2 n_{yy} – osna sila v smeri lokalne osi y posameznega elementa kesona

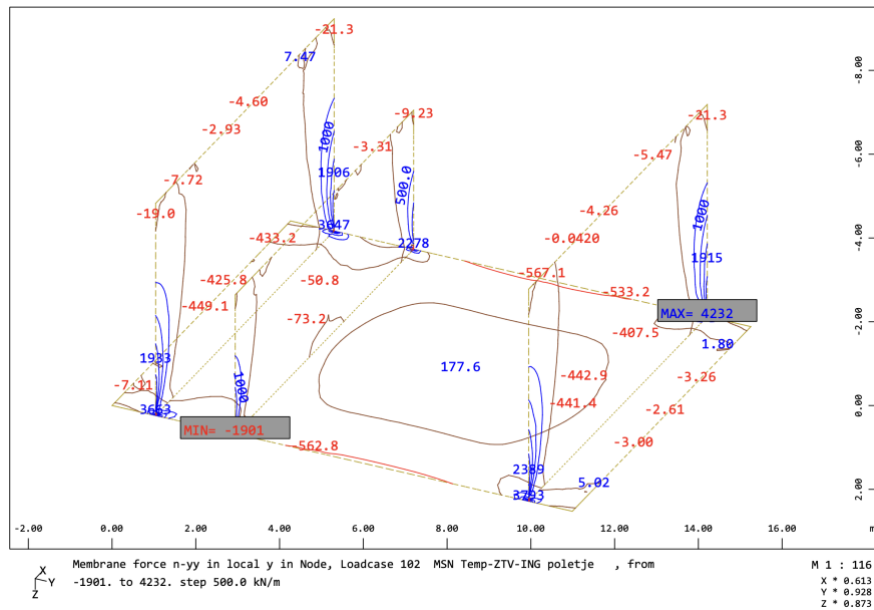


Slika 22: Osná sila n_{yy} po metodi ZTV-ING – zima

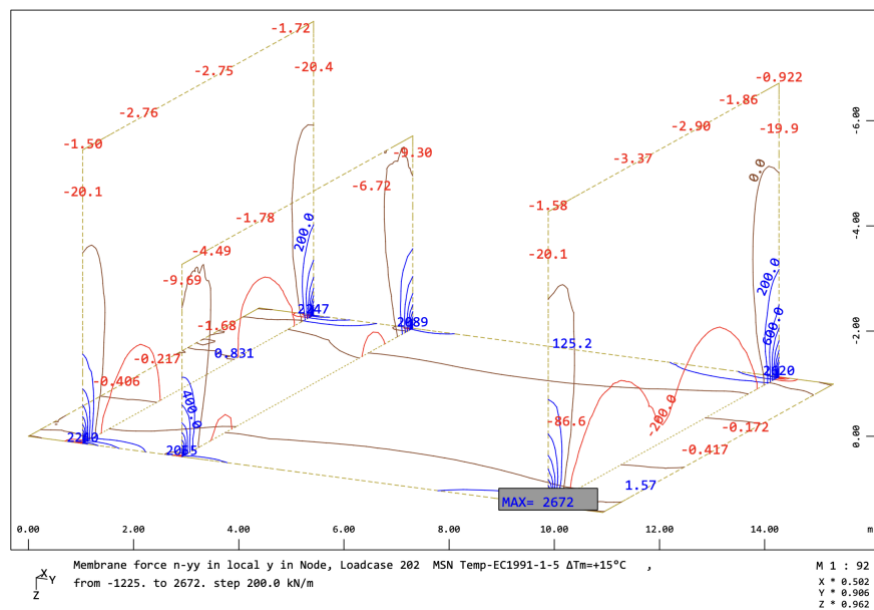


Slika 23: Osná sila n_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima

Opazimo, da pri osni sili n_{yy} , prav tako pride do velikih odstopanj med vrednostmi po metodi Evrokoda [10] in po metodi ZTV-ING [14]. Vzrok je enak kot pri n_{xx} .



Slika 24: Osna sila n_{yy} po metodi ZTV-ING – poletje

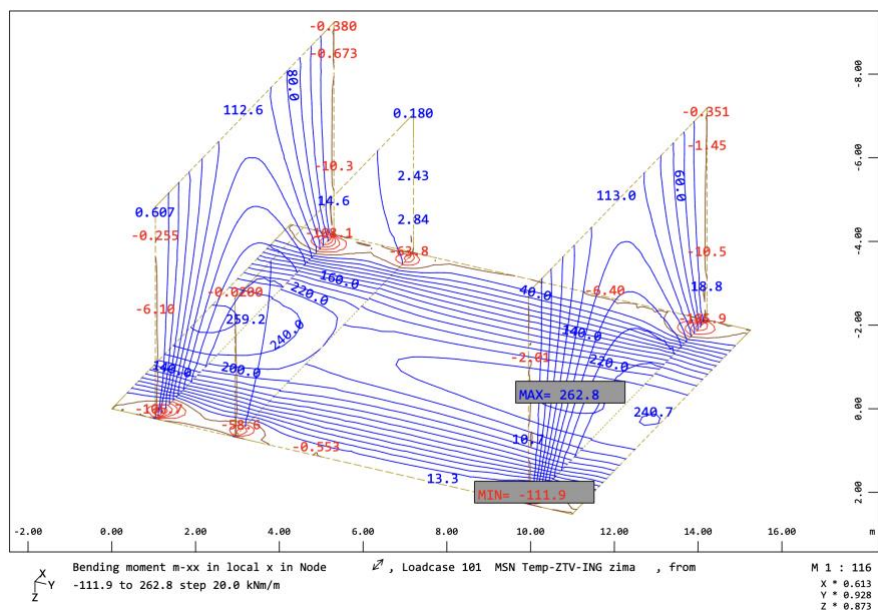


Slika 25: Osna sila n_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje

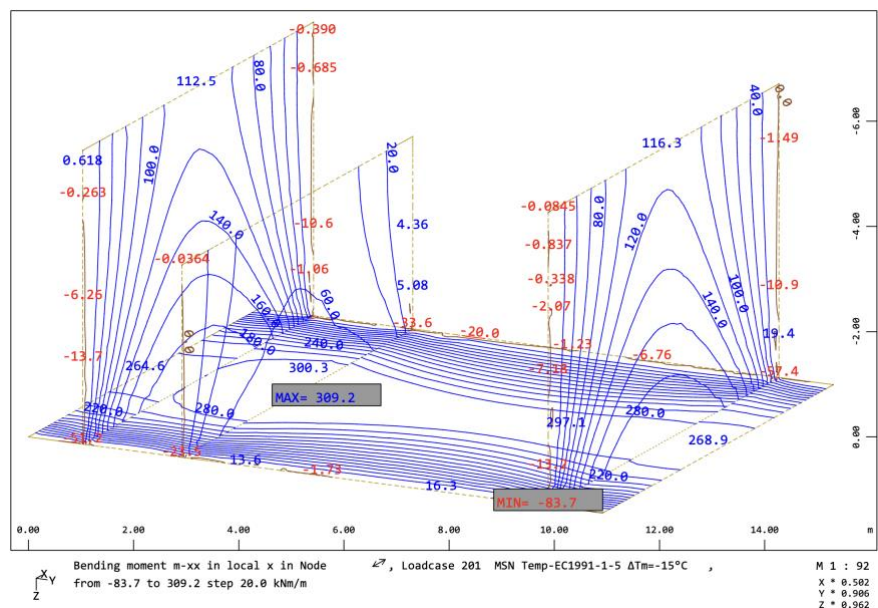
Ponovno opazimo podobno tudi v poletnih mesecih, in sicer da je nivo osne sile n_{yy} bistveno višji v primeru obtežbe določene po ZTV-ING [14].

6.1.2 Upogibni momenti

6.1.2.1 m_{xx} – upogibni moment okoli lokalne osi x posameznega elementa kesona



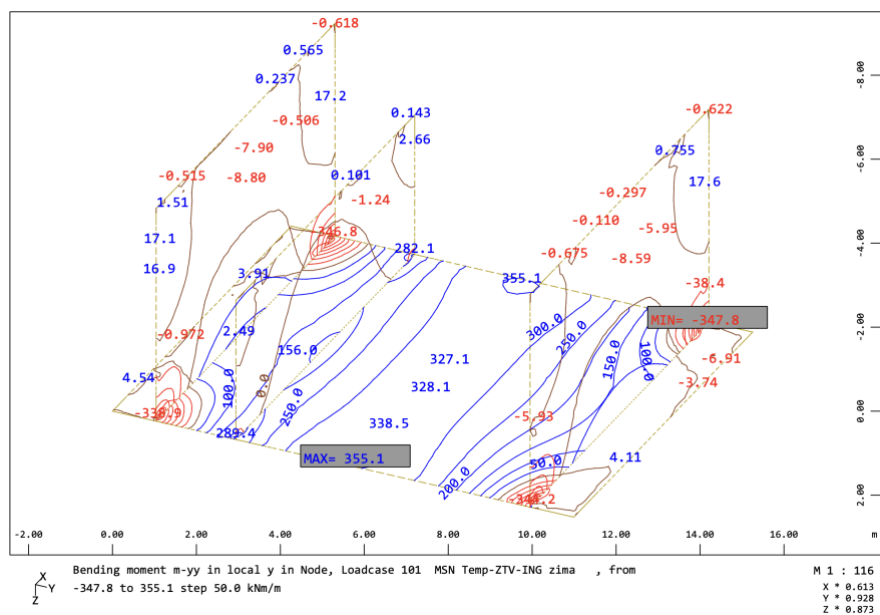
Slika 26: Upogibni moment m_{xx} po metodi ZTV-ING – zima



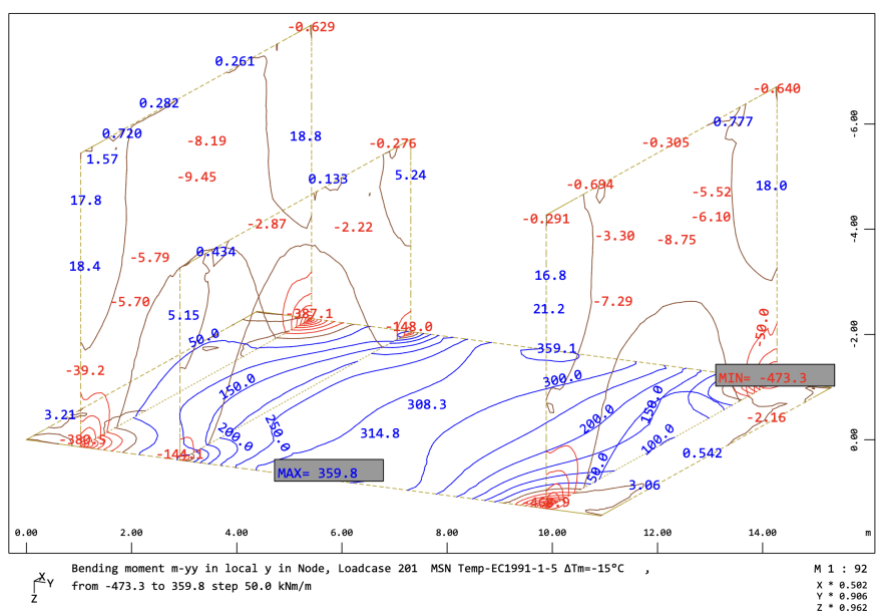
Slika 27: Upogibni moment m_{xx} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima

Upogibni momenti so posledica linearnega dela temperature spremembe, ki se spreminja po debelini elementa. V rezultatih posledično ne opazimo tako velikih razlik kot pri osnih silah, ker je velikostni red –linearnega dela temperature spremembe določene po Evrokodu [10] in po metodi ZTV-ING [14] podoben. Vseeno pa pride do manjših odstopanj, saj smernica ZTV-ING natančneje upošteva debelino elementov in nasipov ter začetno temperaturo zemljine. Večja kot je razlika med linearnima sprememba temperature tem večje bo odstopanje med vrednostmi upogibnih momentov.

6.1.2.2 m_{yy} - upogibni moment okoli lokalne osi y posameznega elementa kesona

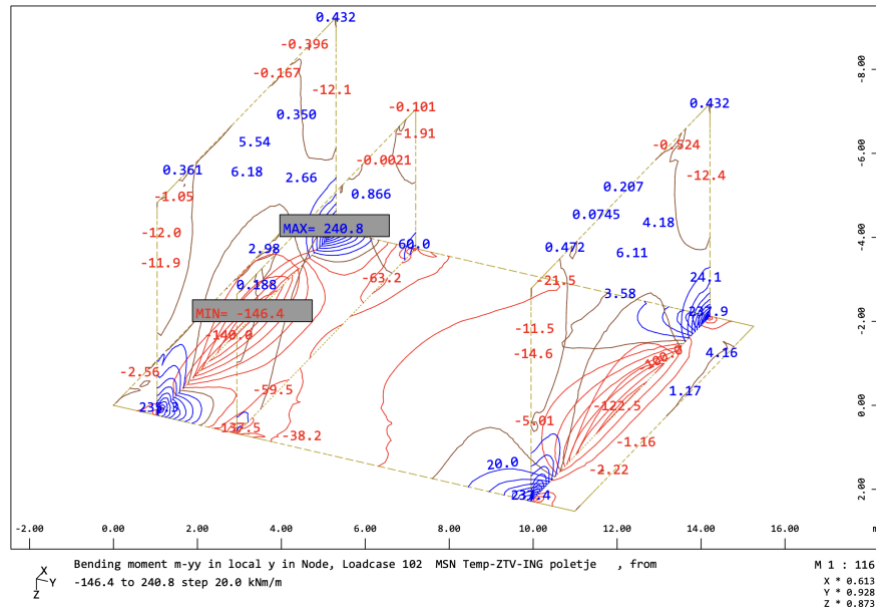


Slika 30: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima

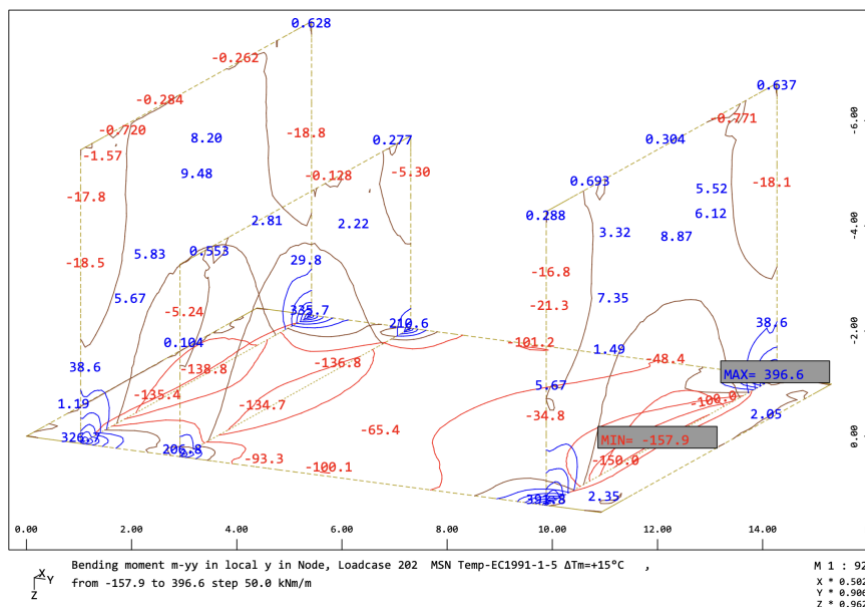


Slika 31: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – zima

Opazimo podobno kot pri m_{xx} za zimo, pri čemer so odstopanja momentov nekoliko manjša.



Slika 32: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje



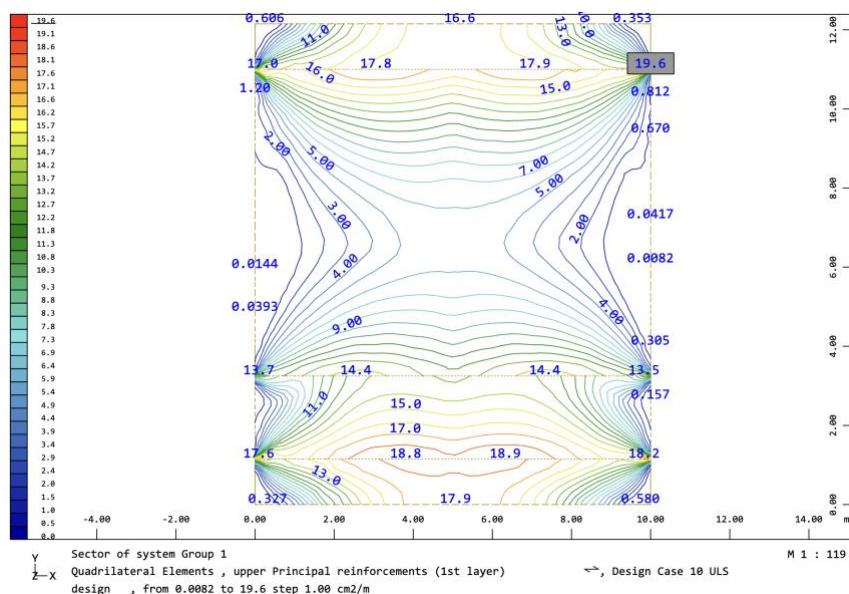
Slika 33: Upogibni moment m_{yy} po metodi SIST EN 1991-1-5 – poletje

Ponovno zasledimo podobno opažanja kot pri poteku m_{xx} za poletni čas. Odstopanja so tokrat nekoliko večja, kar je posledica večjih razlik v vrednosti linearne temperaturne spremembe poleti, določene skladno z Evrokodom [10] in ZTV-ING [14].

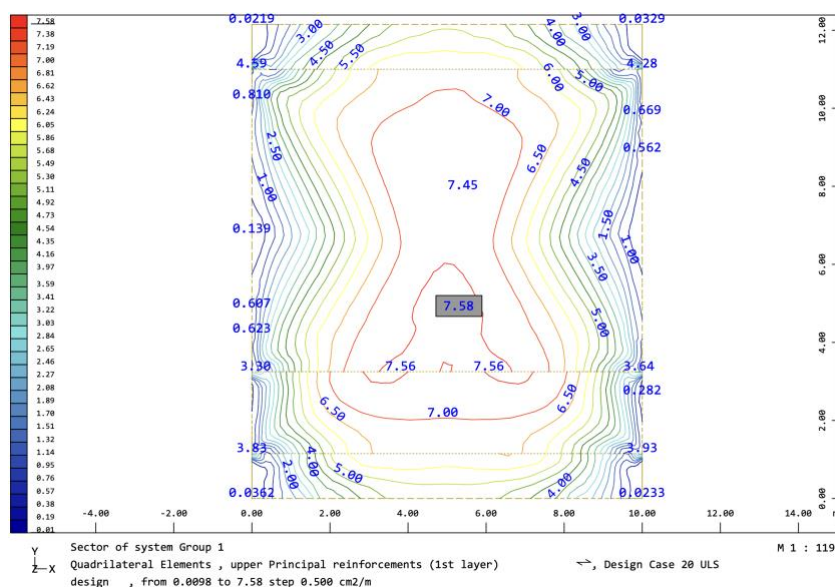
6.2 Potrebna računska armatura

6.2.1 Temelj

6.2.1.1 Armatura v smeri x – osi



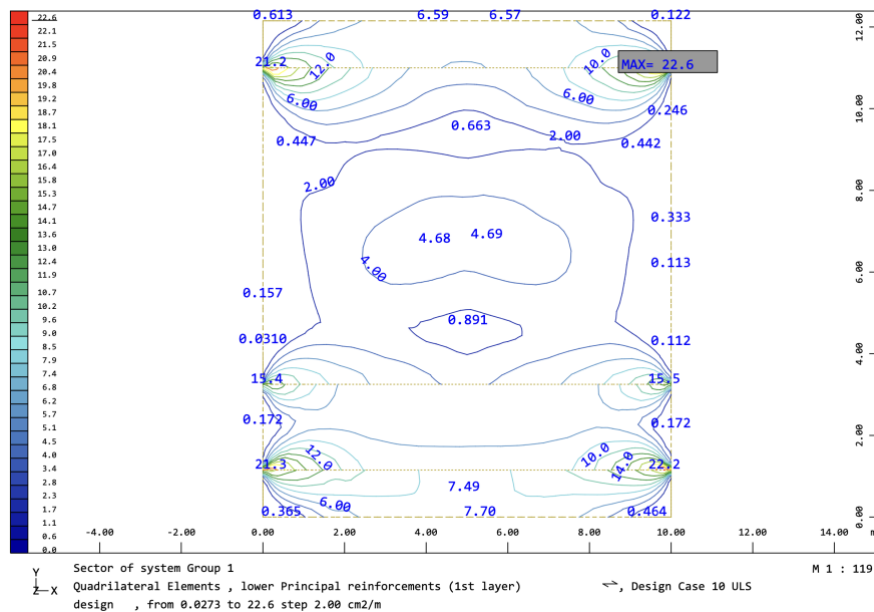
Slika 34: Potek zgornje armature v smeri x – osi (vzdolžna) po metodi ZTV-ING – temelj



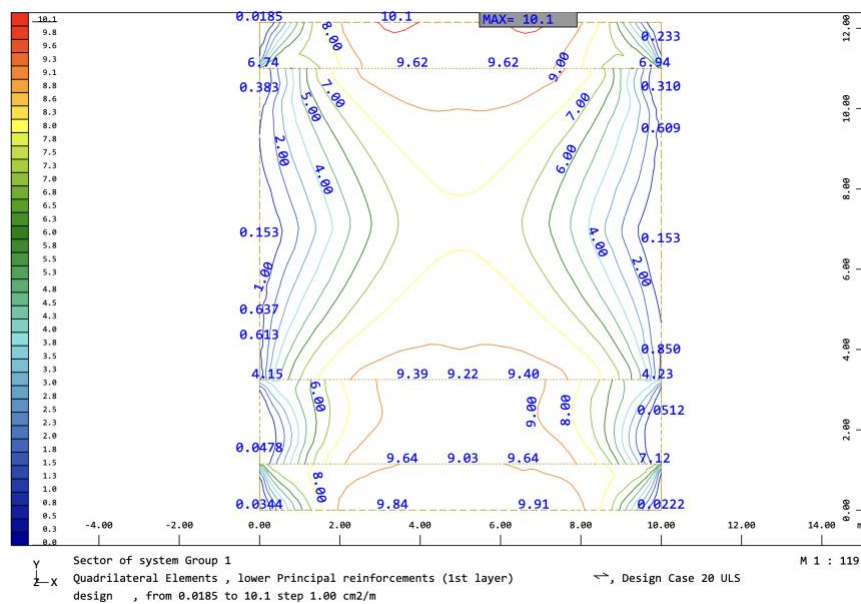
Slika 35: Potek zgornje armature v smeri x – osi (vzdolžna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj

Primerjava Slike 34 in Slike 35 pokaže, da je razpored zgornje računsko potrebne armature v smeri lokalne x – osi bistveno drugačen. Razvidno je, da največja računsko potrebna armatura, ob upoštevanju temperaturne obtežbe po Evrokodu [10], nastopa v polju temeljne plošče, tj. na mestu največjih upogibnih momentov. Ravno nasprotno pa velja v primeru, ko upoštevamo temperaturno obtežbo skladno z ZTV-ING [14], kjer največja računsko potrebna armatura nastopi na mestu stikovanja temeljne plošče z vertikalnimi stenami, tj. na mestu največjih osnih sil, ki so posledica oviranega

raztezanja/krčenja stene in temelja. Upoštevanje temperaturne obtežbe skladno z ZTV-ING [14], vodi v bistveno višji nivo računsko potrebne armature.



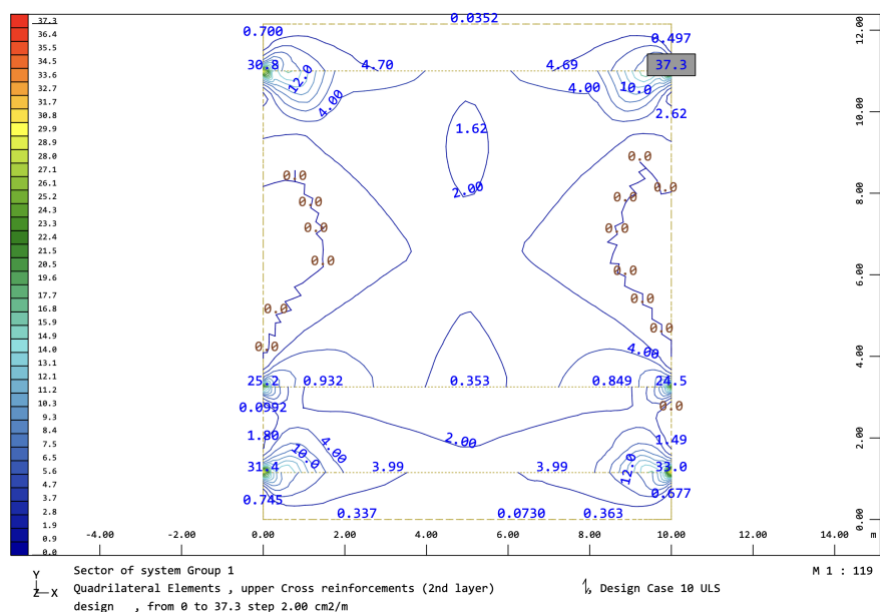
Slika 36: Potek spodnje armature v smeri x - osi (vzdolžna) po metodi ZTV-ING – temelj



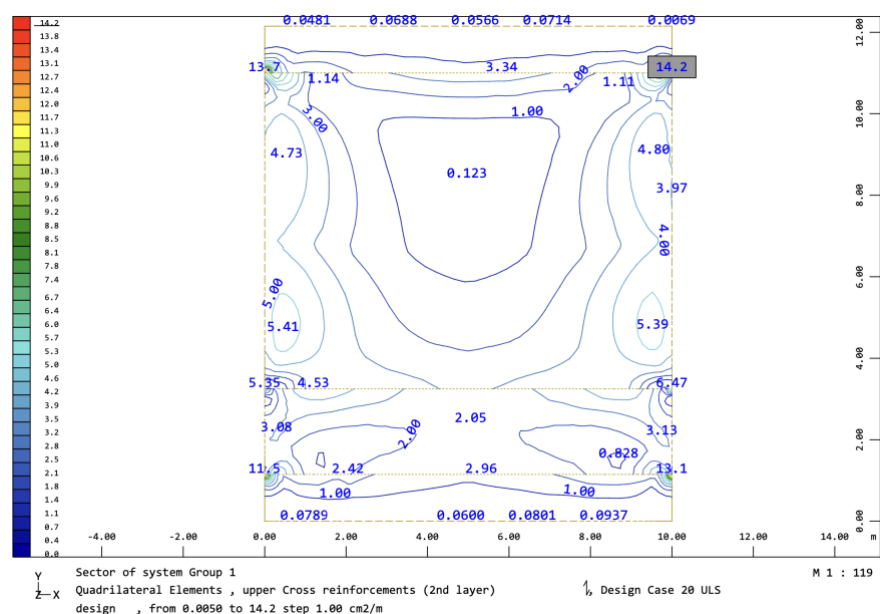
Slika 37: Potek spodnje armature v smeri x – osi (vzdolžna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj

V tem primeru veljajo popolnoma enaki zaključki kot za zgornjo armaturo v smeri x – osi (vzdolžna).

6.2.1.2 Armatura v smeri y – osi

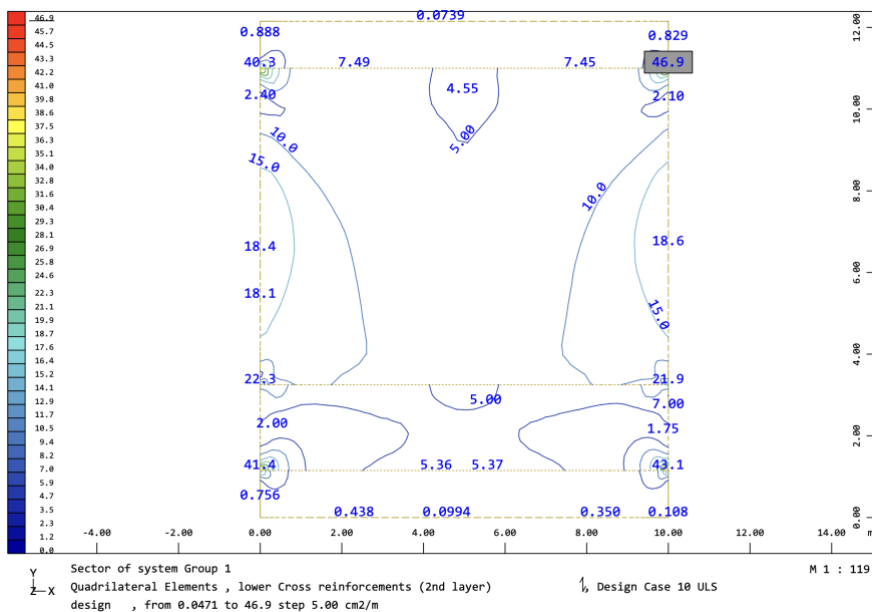


Slika 38: Potek zgornje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi ZTV-ING – temelj

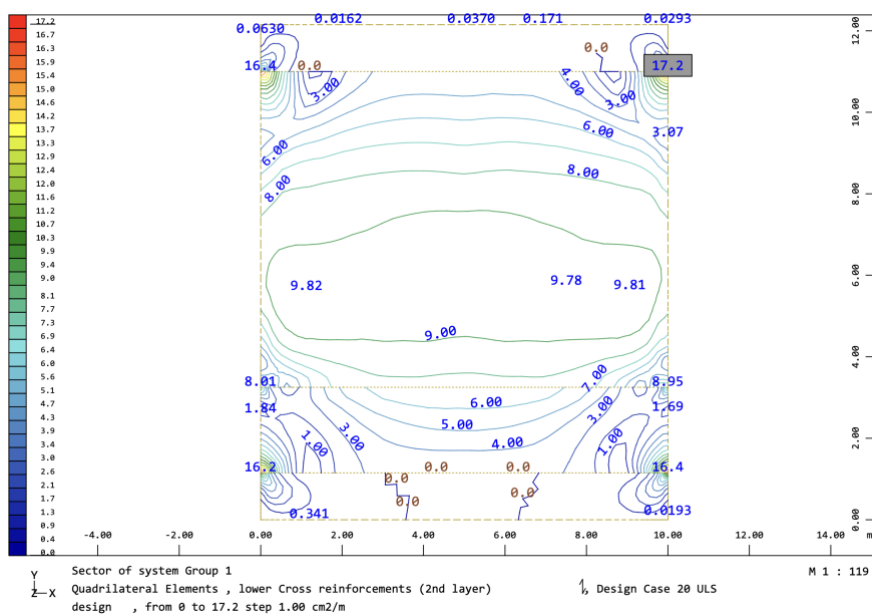


Slika 39: Potek zgornje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj

Primerjava zgornje armature v smeri osi y pokaže, da je razpored armature ob upoštevanju temperaturne obtežbe po Evrokodu [10] ali po ZTV-ING [14] podoben. Največja računsko potrebna armatura nastopa na mestu stikovanja temeljne plošče in vertikalnih zidov. Pri tem je velikostni razred računsko potrebne armature bistveno višji ob upoštevanju obtežbe po ZTV-ING [14], kar je posledica večje osne sile in upogibnega momenta.



Slika 40: Potek spodnje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi ZTV-ING – temelj

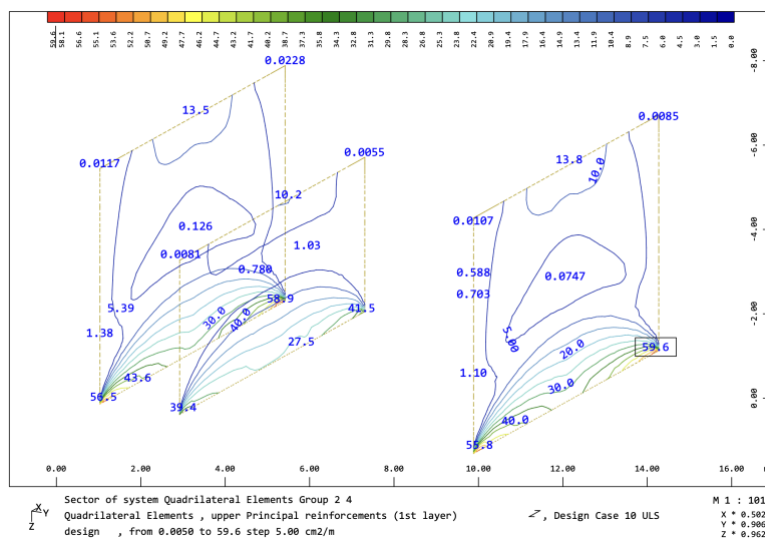


Slika 41: Potek spodnje armature v smeri y – osi (prečna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – temelj

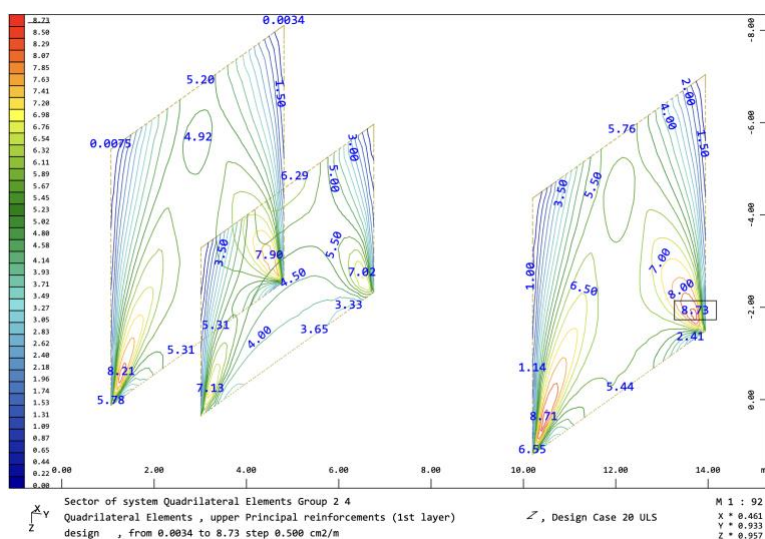
V primeru spodnje armature v smeri osi y velja, da največja računsko potrebna armatura nastopa v vogalih stikovanja temelje plošče s stenami, pri čemer je velikostni razred armature večji v primeru obtežbe po ZTV-ING [14]. Poleg tega je razvidno, da je v primeru obtežbe po Evrokodu [10] računsko potrebna armatura v polju temeljne plošče večja kot pa v primeru obtežbe po ZTV-ING [14], kar je posledica večjih upogibnih momentov (v primeru obtežbe po Evrokodu [10]).

6.2.2 Stene

6.2.2.1 Armatura v x – smeri

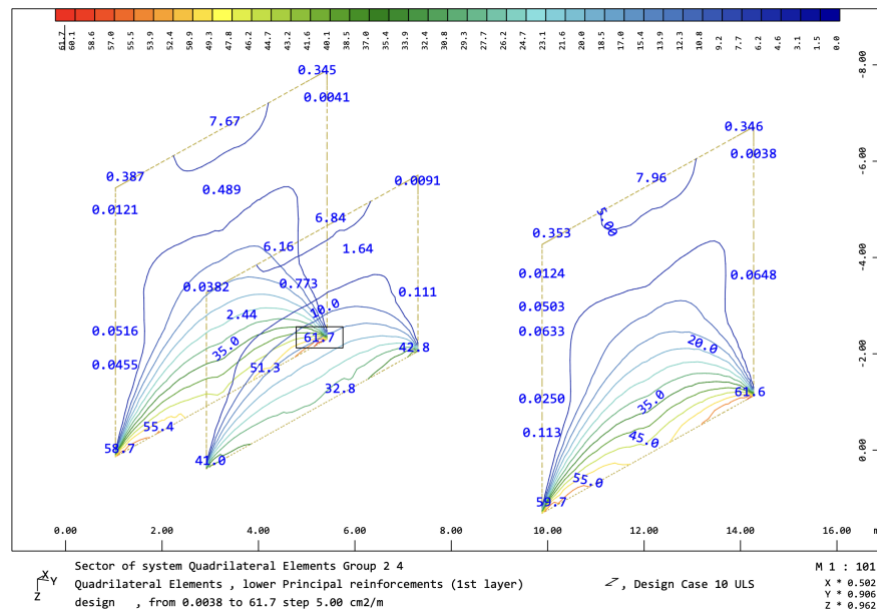


Slika 42: Potek zgornje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi ZTV-ING – stene

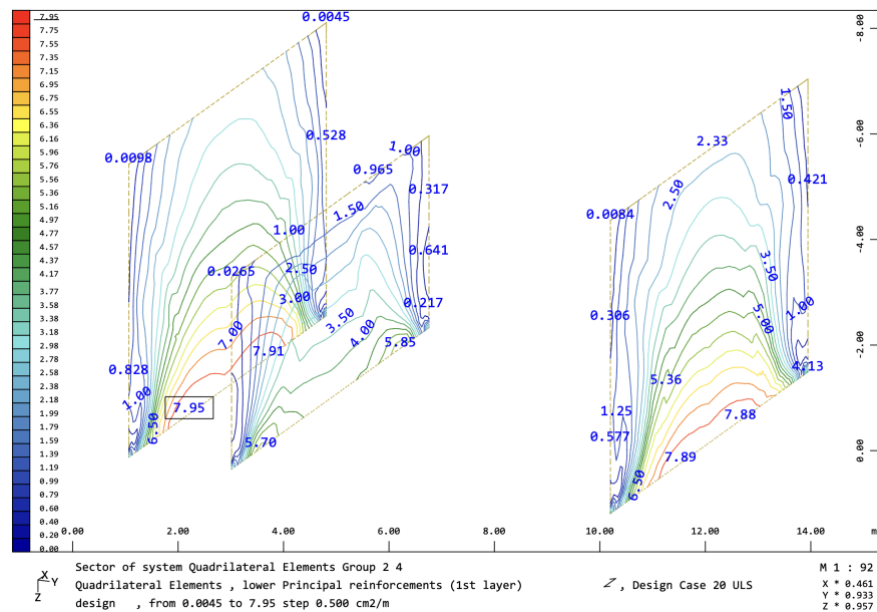


Slika 43: Potek zgornje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene

V primeru sten spodnja armatura predstavlja armaturo, ki je bližje notranji površini stene, zgornja armatura pa armaturo, ki je bližje nasipnemu materialu stene. Opazimo, da je ob upoštevanju obtežbe po Evrokodu [10] potrebne manj računske armature kot ob upoštevanju obtežbe po ZTV-ING [14]. Do odstopanj pride zaradi večjih nategov, ki se pojavijo ob upoštevanju obtežbe po ZTV-ING [14], saj upošteva enakomerno spremembo temperature, česar pa Evrokod [10] ne upošteva. Natezne sile so največje na stiku stene s temeljem, kjer se pojavi ovirano krčenje/raztezanje stene.



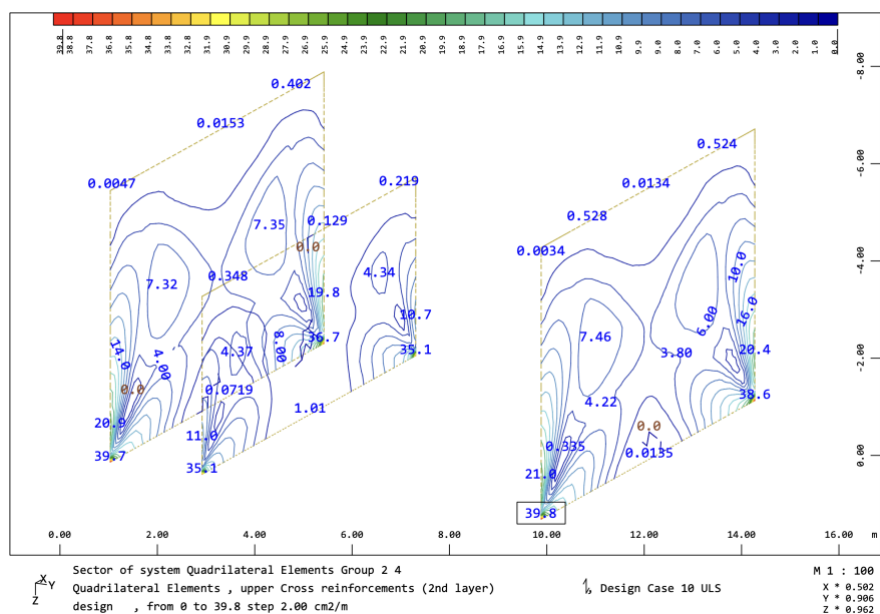
Slika 44: Potek spodnje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi ZTV-ING – stene



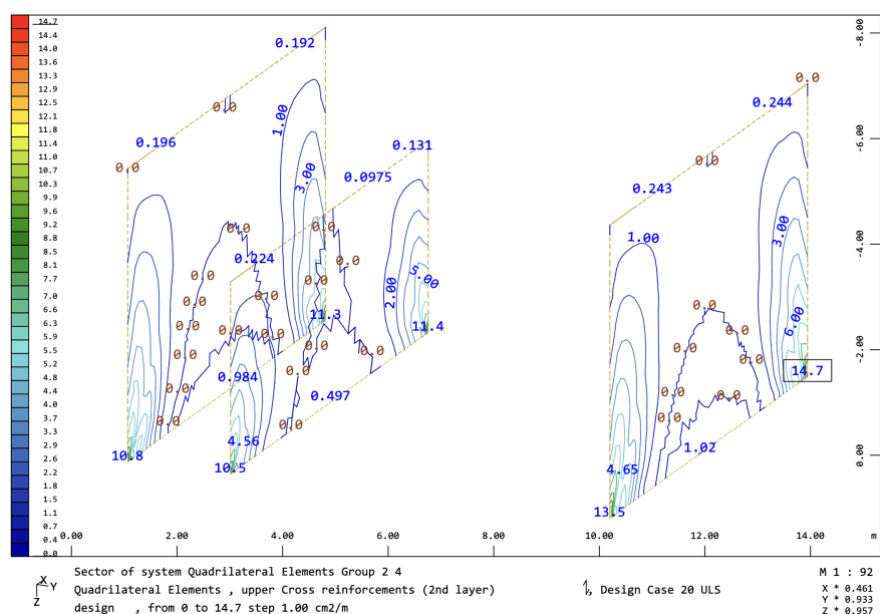
Slika 45: Potek spodnje armature v smeri x - osi (horizontalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene

V tem primeru opazimo podobno kot pri zgornji armaturi v x – smeri (horizontalna).

6.2.2.2 Armatura v y – smeri

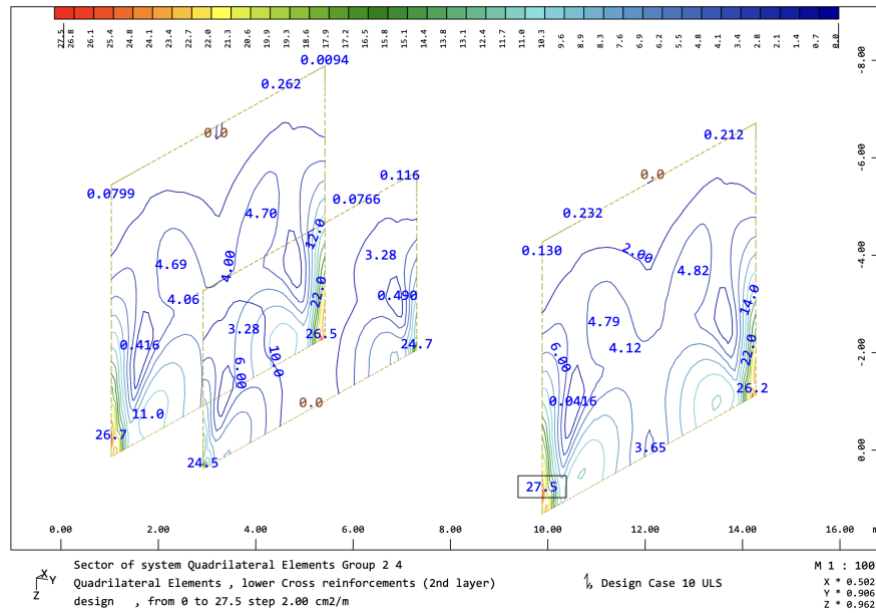


Slika 46: Potek zgornje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi ZTV-ING – stene

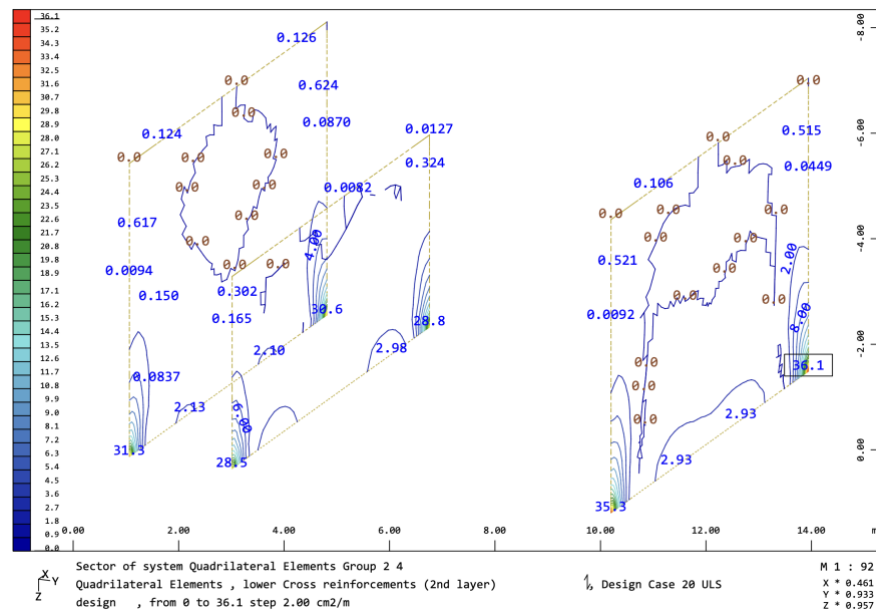


Slika 47: Potek zgornje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene

Primerjava Slike 46 in Slike 47 pokaže podoben potek zgornje armature v smeri osi y, pri čemer je ob upoštevanju obtežbe po ZTV-ING [14], velikostni razred računsko potrebne armature bistveno višji.



Slika 48: Potek spodnje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi ZTV-ING – stene



Slika 49: Potek spodnje armature v smeri y - osi (vertikalna) po metodi SIST EN 1991-1-5 – stene

Opazimo, da je velikostni razred računsko potrebne armature pri metodi po Evrokodu [10] večji. Do odstopanj pride zaradi razlike v vrednostih linearne temperaturne spremembe poleti, ki povzroča natege na notranji površini stene.

»Ta stran je namenoma prazna.«

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo analizirali vpliv temperaturne spremembe na razporeditev notranjih statičnih količin in računsko potrebne armature delno vkopanih konstrukcij. V ta namen smo si izbrali geometrijo kesonske konstrukcije, ki poteka pod železniško progo na območju Pragerskega in analizirali temperaturne vplive na konstrukcijo. Pri izračunu temperaturne obtežbe smo upoštevali dve metodi in sicer metodo izračuna skladno s standardom SIST EN 1991-1-5 [10] ter metodo skladno z ZTV-ING [14]. Pri tem se je izkazalo, da je metoda skladna s standardom Evrokod [10] precej poenostavljena, saj za delno vkopane konstrukcije ne upošteva določenih pogojev okolja, ki jih ZTV-ING [14] upošteva. Evrokod tako na primer ne upošteva enakomerne temperaturne spremembe, sprememb temperatur zaradi spremembe letnih časov, vpliva podzemnih vod, prav tako ne upošteva geometrijskih značilnosti konstrukcije ter vplivov zasipnega materiala tovrstnih konstrukcijskih elementov. Zaradi tega je bila temperaturna obtežba določena po obeh metodah bistveno drugačna.

Za določitev notranjih statičnih količin in računsko potrebne armature smo izvedli linearno statično analizo v programskem okolju Sofistik. Naše ugotovitve pri interpretiranju rezultatov nakazujejo, da upoštevanje temperaturne obtežbe skladno z Evrokodom [10] in ZTV-ING [14] vodi v pomembne razlike pri izračunu osnih sil in upogibnih momentov. Do velikih razlik pride predvsem pri razporedi in velikostnem razredu osnih sil, saj Evrokod [10] ne upošteva enakomerne temperaturne spremembe, ki bistveno vpliva na razpored membranskih-osnih sil. Pri velikostnem razredu in razporedi upogibnih momentov ne pride do tako velikih odstopanj, ker je linearni del temperaturne spremembe, ki najpomembneje vpliva na razpored in velikost upogibnih momentov, določen po obeh metodah (Evrokodo [10] in ZTV-ING [14]), primerljiv.

Pri primerjavi računsko potrebne armature je bilo ugotovljeno, da upoštevanje temperaturne obtežbe po Evrokodu [10] v splošnem vodi v manjšo računsko potrebno armaturo kot pa če upoštevamo temperaturno obtežbo po ZTV-ING [14]. Razlika je posledica dodatnih nateznih sil, ki jih povzroči enakomerni del temperaturne spremembe, katere Evrokod [10] ne upošteva. Zaradi enakomerne dela temperaturne spremembe (ta je skladno z ZTV-ING [14] upoštevana) pride do oviranega raztezka/skrčka med temeljem in stenami, kar povzroči osne-membranske sile, zaradi katerih je posledično potrebne več računske armature za zagotovitev ravnotežja prečnega prereza elementa. Podoben fenomen se pojavi na stiku med temeljno ploščo in podlago.

Analize izvedene v diplomski naloge kažejo, da je pri dimenzioniranju delno vkopanih konstrukcij pomembna izbira ustrezne metode za določitev temperaturne obtežbe konstrukcije. Kakor je v diplomski nalogi razvidno, upoštevanje obtežbe skladno z Evrokodom [10] vodi v rezultate na nevarni strani, saj je podcenjen temperaturni vpliv in posledično količina računsko potrebne armature. V ta namen je veliko bolj primerna in priporočljiva uporaba nemške tehnične smernice ZTV-ING [14]. Še posebej pomembno je to pri vkopanih in delno vkopanih konstrukcijah, kot so kesoni, podporni zidovi in krajni oporniki mostov.

»Ta stran je namenoma prazna.«

VIRI

- [1] Abendroth, R., Greimann, L., LaViolett, M. 2007. An Integral Abutment Bridge with Precast Concrete Piles <https://publications.iowa.gov/5168/1/TR-438.pdf> (Dostopno dne 12. 7. 2023).
- [2] Čas, B. 2017. Armiranobetonski nadvoz preko treh polj http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/KMLK/Drago/MM/MM_2016_2017/AB_nadvoz_16_17.pdf (Dostopno dne 28. 7. 2023).
- [3] Development of Crossing of Roads with the Railway, Pragersko-Hodoš <https://www.elea.si/en/portfolio/development-of-crossing-of-roads-with-the-railway-pragersko-hodos/> (Dostopno dne 27. 7. 2023).
- [4] DIN-Fachbericht 102:2009. Betonbrücken.
- [5] Liu, J., Liu, Y., Jiang, L., Zhang, N. 2019. Long-term field test of temperature gradients on the composite girder of a long-span cable-stayed bridge. Advances in Structural Engineering: 22(13): 2785-2798. <https://doi.org/10.1177/1369433219851300> (Dostopno dne 15. 7. 2023).
- [6] Lu, Y., Li, D., Wang, K., Jia, S. 2021. Study on Solar Radiation and the Extreme Thermal Effect on Concrete Box Girder Bridges. Applied Sciences: 11(14): 6332. <http://dx.doi.org/10.3390/app11146332> (Dostopno dne 15. 7. 2023).
- [7] meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Karte <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/> (Dostopno dne 10.8. 2023).
- [8] SIST EN 1990:2004. Evrokod 0: Osnove projektiranja.
- [9] SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.
- [10] SIST EN 1991-1-5:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi.
- [11] SIST EN 1991-1-5: 2004 Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi – Nacionalni dodatek .
- [12] Sofistik (Software for structural engineering). 2022. Mensch und Maschine Software SE. <https://www.sofistik.com> (Dostopno dne 10.8.2023)
- [13] Zbornica gradbeništva in IGM. Evrokodi - EVROPSKI STANDARDI https://www.gzs.si/zbornica_gradbenistva_in_industrije_gradbenega_materiala/vsebina/Gradbeni-standardi/Evrokodi-evropski-standardi (Dostopno dne 16. 7. 2023).
- [14] ZTV-ING:2012. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – Teil 5: Tunnelbau.