

Univerza  
v Ljubljani

*Fakulteta za  
gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500 faks  
(01) 42 50 681  
tajnistvo@fgg.uni-lj.si

INTERDISCIPLINARNI  
DOKTORSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM III. STOPNJE  
GRAJENO OKOLJE

Doktorand/-ka:

**NATAŠA ŠPRAH**

**OSONČENOST STAVBNEGA OVOJA KOT  
OSNOVA ZA ENERGETSKO UČINKOVIT  
RAZVOJ STANOVANJSKE ZAZIDAVE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**INSULATION OF THE BUILDING  
ENVELOPE AS A CRITERION OF  
ENERGY-EFFICIENT HOUSING  
DEVELOPMENT**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2021



Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



**Mentor/-ica:** doc. dr. Mitja Košir, UL FGG

**Poročevalci za oceno doktorske disertacije:**

- izr. prof. dr. Ilka Čerpes, UL FA
- izr. prof. dr. Metka Sitar, UM FGPA
- doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek, UL FGG





## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

---

»Ta stran je namenoma prazna«

---

**BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>551.521.16:728.2:620.9(043)</b>
<b>Avtorica:</b>	<b>Nataša Šprah</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mitja Košir</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Osončenost stavbnega ovoja kot osnova za energetske učinkovit razvoj stanovanjske zazidave</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Doktorska disertacija</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>124 str., 19 pregl., 56 sl., 137 ref., 15 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>trajnostno urbanistično načrtovanje, večstanovanjska zazidava, sončni potencial, energijska učinkovitost, osvetljevanje z dnevno svetlobo, vertikalni faktor dnevne svetlobe, SIST EN 17037.</b>

**Izvleček:**

Višanje gostote večstanovanjskih zazidav pomeni povečanje medsebojnega senčenja stavb in s tem omejitev uporabe najbolj univerzalno dostopnega vira energije – sonca. Zmanjšanje osončenosti stavb niža potencial aktivnega in pasivnega izkoriščanja sončne energije ter naravnega osvetljevanja notranjosti prostorov. Doktorska disertacija obsega raziskavo odnosa med določenimi urbanističnimi kazalci, tj. faktorjem izrabe (FI) in zazidanosti (FZ) zemljišča, tipom, lego in orientacijo stavb ter njihovo osončenostjo. Svetlobno in energijsko komponento osončenosti fasadnega ovoja stavb smo raziskali s pomočjo modelov, ustvarjenih na podlagi značilnosti izbranih sodobnih večstanovanjskih zazidav odprtega vzorca zidave v Sloveniji. Z računalniškimi simulacijami pridobljene količine sončnega sevanja in osvetljenosti na fasadah smo medsebojno primerjali in določili vpliv izbranih urbanističnih kazalcev na osončenost fasadnega ovoja stavb. Analiza je pokazala na velik vpliv gostote stanovanjske zazidave, tako FZ kot FI. Tudi vpliv tipologije stavb na obe komponenti osončenosti fasadnega ovoja je velik, medtem ko je vpliv orientacije in lege stavb manjši oz. zmeren. Izračunali smo minimalno vrednost sončnega sevanja v času ogrevalne sezone, pri kateri solarni dobitki presegajo toplotne izgube skozi zasteklitev. Primerjava te vrednosti s simulacijsko pridobljenimi povprečnimi vrednostmi sončnega sevanja na fasadah osrednjih stavb modelov v obdobju ogrevalne sezone je pokazala, da so slednje višje pri vseh preverjenih scenarijih. Pri določitvi vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev se je za bolj odločujočo izkazala svetlobna komponenta osončenosti. Minimalne vrednosti osvetljenosti fasade smo določili s pomočjo zahtev standarda SIST EN 17037. Simulirane povprečne vrednosti vertikalnega faktorja dnevne svetlobe ( $VD_{pov}$ ) smo primerjali z minimalnimi vrednostmi  $VD_{pov}$  fasade, ki še omogočajo zadostno osvetljenost najgloblje, najnižje, v najnižje nadstropje stavbe umeščene enostransko osvetljene sobe, ki jo dopušča slovenska zakonodaja. Maksimalne gostote posamičnih tipologij, ki so v nekaterih primerih nižje kot tiste v izbranih večstanovanjskih zazidavah, smo povzeli v obliki diagramov kot priporočil za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave v zgodnjih fazah načrtovanja.

---

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 551.521.16:728.2:620.9(043)  
**Author:** Nataša Šprah  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mitja Košir, PhD  
**Title:** Insolation of the building envelope as a criterion of energy-efficient housing development  
**Document type:** Doctoral Dissertation  
**Scope and tools:** 124 p., 19 tab., 56 fig., 137. ref., 15 ann.  
**Keywords:** sustainable urban planning, residential developments, solar potential, energy efficiency, daylighting, vertical daylight factor, SIST EN 17037.

**Abstract:**

Increasing the density of multifamily housing developments intensifies mutual shading of buildings, and thus limits the use of the most universally available source of energy – the sun. Reduced building insolation decreases the potential for active and passive use of solar energy and daylighting. This doctoral dissertation includes a study of the relationship between certain urban indicators – i.e. site coverage and floor area ratio (FAR), building typology, layout and orientation – and the insolation of buildings in multifamily housing developments. Solar irradiation and illumination on building facades were investigated with models, on the basis of the characteristics of contemporary multifamily housing developments with point and linear building typologies in Slovenia. The amounts of solar irradiation and illumination on the facades obtained with computer simulations were compared, and the influence of individual urban indicators on the insolation of the building facade was determined. In accordance with previous research, the analysis showed a significant influence of the density of residential developments, both site coverage and FAR. The influence of the typology of buildings on the irradiation and illumination on the facade is substantial, while the influence of the orientation and layout of the developments is moderate. We established the irradiation threshold, required to equate the energy balance between solar gains and heat losses through the glazed opening during the heating season. A comparison with the simulation-derived average values of solar irradiation on the facades of the central buildings of the models during the heating season showed that these values are higher in all examined scenarios. Daylighting proved to be the deciding factor for determining the maximum density of individual typologies and layouts of residential developments. The minimum values for daylighting of the facades were determined using the requirements of the SIST EN 17037 standard. The simulated average vertical daylight factor values ( $VD_{avg}$ ) were compared with the minimum  $VD_{avg}$  values of the facade that enable sufficient daylighting of the deepest, lowest, one-sidedly daylit occupied spaces, designed according to the Slovenian legislation, and placed in the lowest level of the buildings. The calculated maximum densities of individual typologies, which are in some cases lower than those of the analyzed real-life multifamily housing developments, were summarized in the form of diagrams to serve as recommendations for designing sufficiently daylit multifamily housing developments with point and linear building typologies in the early stages of planning.

## ZAHVALA

*Hvala vsem, ki ste mi strokovno in osebno nudili podporo, mi pomagali in me spodbujali.*

*Hvala mentorju za ves vložen čas in trud.*

*Hvala Niko, mama, ata.*

*Nataša*

*»Here comes the sun, and I say*

*It's all right«*

*George Harrison*

»Ta stran je namenoma prazna«

**KAZALO VSEBINE**

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VII
KAZALO PREGLEDNIC	XI
LIST OF TABLES	XIII
KAZALO SLIK	XV
LIST OF FIGURES	XIX
KAZALO PRILOG	XXIII
LIST OF APPENDICES	XXV
SEZNAM KRATIC	XXVII
SEZNAM MANJ ZNANIH BESED IN TUJK	XXIX
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Opredelitev problema	1
1.2 Cilji raziskovalnega dela	3
1.3 Predstavitev hipotez	3
1.4 Struktura doktorske disertacije	4
<b>2 RAZISKOVANJE ODNOSA OSONČENOSTI IN NARAVNE OSVETLJENOSTI STANOVANJSKE ZAZIDAVE Z URBANISTIČNIMI KAZALCI</b>	<b>5</b>
2.1 Začetki raziskovanja povezave med osončenostjo in urbanistično zasnovo	5
2.2 Sodobne raziskave in uporaba računalniških orodij pri raziskovanju urbane forme in osončenosti	6
2.3 Raziskave osvetljenosti z dnevno svetlobo v urbanem merilu	10
2.4 Pomembni izsledki raziskav osončenosti stavb v kontekstu okoliške zazidave	12

<b>3</b>	<b>STANJE V SLOVENIJI – VEČSTANOVANJSKA ZAZIDAVA IN ZAKONODAJA S PODROČJA OSONČENOSTI IN OSVETLJEVANJA Z DNEVNO SVETLOBO</b>	<b>13</b>
3.1	Stanovanjska gradnja v Jugoslaviji	13
3.2	Stanovanjska gradnja po osamosvojitvi	14
3.3	Zakonodaja in standardi s področja osončenosti stavb	14
3.4	Raziskave osončenosti stanovanjske zazidave v Sloveniji	17
3.5	Možnost oblikovanja priporočil o osončenosti večstanovanjske zazidave v fazi urbanističnega načrtovanja	20
<b>4</b>	<b>METODOLOGIJA DELA IN PODATKI</b>	<b>21</b>
4.1	Osnovna predstavitev metodološkega pristopa	21
4.2	Izbor urbanističnih kazalcev	23
4.3	Izbor in analiza primerov večstanovanjskih zazidav	24
4.4	Vzpostavitev ustreznih modelov večstanovanjskih zazidav za simulacije	33
4.5	Uporabljena računalniška orodja	35
4.6	Analiza prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe	36
4.6.1	Analiza vpliva urbanističnih kazalcev na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe	37
4.6.2	Določitev mejnih vrednosti osončenosti fasade in primerjava z osončenostjo fasad v kontekstu okoliške zidave	39
4.7	Preveritev svetlobne komponente osončenosti	40
4.8	Oblikovanje in preveritev priporočil za urbanistično načrtovanje večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja	44
<b>5</b>	<b>REZULTATI</b>	<b>45</b>
5.1	Vpliv urbanističnih kazalcev na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe	45
5.1.1	Korelacija med količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe in urbanističnimi kazalci	45
5.1.1.1	Vpliv faktorja izrabe na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe	46
5.1.1.2	Vpliv faktorja zazidanosti na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe	47
5.1.1.3	Vpliv zamika stavb na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe	50



5.1.1.4	Vpliv orientacije na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe	52
5.1.1.5	Vpliv tipologije stavb na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe	56
5.1.1.6	Primerjava vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na prejeta količino sončnega sevanja na fasadi stavbe	57
5.1.2	Mejne vrednosti prejetega sončnega sevanja in primerjava s količino na fasadi prejetega sončnega sevanja v kontekstu okoliške zidave	59
5.2	Vpliv urbanističnih kazalcev na osvetljenost fasad	61
5.2.1	Korelacija med osvetljenostjo fasade in urbanističnimi kazalci	61
5.2.1.1	Vpliv faktorja izrabe na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo	62
5.2.1.2	Vpliv faktorja zazidanosti na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo	64
5.2.1.3	Vpliv tipologije stavbe na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo	65
5.2.1.4	Vpliv zamika stavb na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo	67
5.2.1.5	Primerjava vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja večstanovanjskih stavb z dnevno svetlobo	69
5.2.2	Mejne vrednosti osvetljenosti fasade z dnevno svetlobo in primerjava z osvetljenostjo fasad v kontekstu okoliške večstanovanjske zazidave	71
5.3	Priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja	76
5.4	Preveritev priporočil za urbanistično načrtovanje večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja	79
<b>6</b>	<b>DISKUSIJA</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>SKLEP</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>105</b>
<b>9</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>109</b>
	<b>LITERATURA IN VIRI</b>	<b>113</b>

»Ta stran je namenoma prazna«

---

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1:</b>	Obravnavani primeri večstanovanjskih zazidav, razvrščeni po letu izgradnje.	25
<b>Preglednica 2:</b>	Grafični pregled obravnavanih stanovanjskih zazidav s podatki o gostoti in tipologiji zazidave ter številu stanovanjskih stavb, ki pripadajo posamični tipologiji.	27
<b>Preglednica 3:</b>	Značilnosti obravnavanih lamelnih blokov: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.	29
<b>Preglednica 4:</b>	Značilnosti obravnavanih koridorskih blokov: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.	30
<b>Preglednica 5:</b>	Značilnosti obravnavanih koridorskih blokov z zunanjim hodnikom: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.	30
<b>Preglednica 6:</b>	Značilnosti obravnavanih vila blokov in stolpičev: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.	30
<b>Preglednica 7:</b>	Značilnosti obravnavanih globokih stolpičev: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.	31
<b>Preglednica 8:</b>	Variante tlorisov modelov stanovanjskih zazidav.	35
<b>Preglednica 9:</b>	Uporabljene nastavitve odsevnosti materialov za različne površine v simulacijah z Diva-for-Rhino.	43
<b>Preglednica 10:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone.	45
<b>Preglednica 11:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na fasadah stavb vseh tipologij, višin in orientacij v času ogrevalne sezone brez senčenja okoliških stavb.	54
<b>Preglednica 12:</b>	Minimalne vrednosti v ogrevalni sezoni prejetega sončnega sevanja, ki nadomestijo toplotne izgube pri različnih tipih zasteklitev.	60
<b>Preglednica 13:</b>	Maksimalni FI za vse tipologije in FZ stanovanjskih zazidav s postavitvami brez zamika in z zamikom ob daljši stranici stavbe glede na zadostno osvetljeno globino sobe v pritličju stavbe.	74
<b>Preglednica 14:</b>	Maksimalni FI za vse tipologije in FZ stanovanjskih zazidav s postavitvami brez zamika in z zamikom ob daljši stranici stavbe glede na zadostno osvetljeno globino sobe v 1. nadstropju stavbe.	75
<b>Preglednica 15:</b>	Naravna osvetljenost izbrane sobe v večstanovanjski zazidavi na Mesarski cesti.	82

---

<b>Preglednica 16:</b>	Naravna osvetljenost izbrane sobe v nižani večstanovanjski zazidavi na Mesarski cesti.	84
<b>Preglednica 17:</b>	Prejeta količina sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti v času ogrevalne sezone.	85
<b>Preglednica 18:</b>	Naravna osvetljenost izbrane sobe v večstanovanjski zazidavi Polje II.	87
<b>Preglednica 19:</b>	Prejeta količina sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe večstanovanjske zazidave Polje II v času ogrevalne sezone.	89

---

**LIST OF TABLES**

<b>Table 1:</b>	Examined residential developments listed according to the year of construction.	25
<b>Table 2:</b>	A graphic synopsis of residential developments with details about development density, building typology and the number of residential buildings by typology.	27
<b>Table 3:</b>	The characteristics of the investigated linear buildings with shared vertical access: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.	29
<b>Table 4:</b>	The characteristics of the investigated linear buildings with shared interior horizontal access: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.	30
<b>Table 5:</b>	The characteristics of the investigated linear buildings with shared exterior horizontal access: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.	30
<b>Table 6:</b>	The characteristics of the investigated villa-blocks and towers: floor plan dimensions, no. of floors, distance and placement.	30
<b>Table 7:</b>	The characteristics of the investigated wide towers: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.	31
<b>Table 8:</b>	Residential development model layout variations.	35
<b>Table 9:</b>	Material reflectance values for surfaces used in simulations with Diva-for-Rhino.	43
<b>Table 10:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season.	45
<b>Table 11:</b>	The average amount of solar energy received per unit area of the unshaded building facade of all typologies, building heights and orientations.	53
<b>Table 12:</b>	Double glazing characteristics: thermal, total solar energy and light transmittance.	60
<b>Table 13:</b>	Maximum FAR for all researched residential development typologies and site coverage variations with parallel placement and placement of buildings shifted along the longer side of the building for adequate natural lighting of different ground floor room depths.	74
<b>Table 14:</b>	Maximum FAR for all researched residential development typologies and site coverage variations with parallel placement and placement of buildings shifted along the longer side of the building for adequate natural lighting of different first floor room depths.	75
<b>Table 15:</b>	Daylighting of the chosen room in Mesarska residential development.	82

---

<b>Table 16:</b>	Daylighting of the chosen room in Mesarska residential development with reduced building height.	84
<b>Table 17:</b>	The amount of solar radiation received on the facade of the inspected building in Mesarska residential development during the heating season.	85
<b>Table 18:</b>	Daylighting of the chosen room in Polje II residential development.	87
<b>Table 19:</b>	The amount of solar radiation received on the facade of the inspected building in residential development Polje II during the heating season.	89

**KAZALO SLIK**

<b>Slika 1:</b>	Grafični prikaz strukture doktorske disertacije.	4
<b>Slika 2:</b>	Heliotermična os Pariza.	5
<b>Slika 3:</b>	Diagrama pozidave pravokotnega zemljišča z vzporednimi vrstami stanovanjskih blokov različnih višin.	6
<b>Slika 4:</b>	Tri generične oblike zazidave, ki sta jih primerjala Lionel March in Leslie Martin: točkovna, linijska in karejska.	7
<b>Slika 5:</b>	Rezultati raziskav, pridobljeni z različnimi metrikami, ki temeljijo na: 1. geometriji, 2. vplivu geometrije na izpostavljenost zunanosti stavb soncu in 3. podrobnih izračunih, ki upoštevajo podnebje in geometrijo stavb.	8
<b>Slika 6:</b>	Generični modeli za simulacijo z različnimi razporeditvami stavb: 1. horizontalno in vertikalno enotno razporeditvijo, 2. horizontalno enotno in vertikalno naključno razporeditvijo in 3. horizontalno naključno in vertikalno enotno razporeditvijo.	9
<b>Slika 7:</b>	Solarno mapiranje s prikazom: (a) letno prejete sončne energije na površini 1 m <sup>2</sup> in (b) odstotek prejete energije na površini v primerjavi z neosenčeno stavbo.	9
<b>Slika 8:</b>	Letna osvetljenost > 200 lx v uličnem kanjonu v Københavnu pri reflektivnosti tal 0,20 in reflektivnosti zunanega zidu (a) 0,45 in (b) 0,75.	11
<b>Slika 9:</b>	Obrisi stavb, obarvani glede na odstotek sob, ki so skladne s švedsko zakonodajo ( $D \geq 1\%$ ), razvrščeni po letu izgradnje.	12
<b>Slika 10:</b>	Značilne stanovanjske zazidave v Sloveniji.	18
<b>Slika 11:</b>	Letne izo-sence za 12 m široke stavbe z različno višino in orientacijo.	19
<b>Slika 12:</b>	Ilustracija glavnih korakov delovnega procesa.	22
<b>Slika 13:</b>	Primeri analiziranih (a) koridorskega, (b) lamelnega in (c) koridorskega bloka z zunanjim hodnikom.	362
<b>Slika 14:</b>	Primeri analiziranega (a) stolpiča in (b) globokega stolpiča.	32
<b>Slika 15:</b>	16 CIE standardnih tipov neba.	36
<b>Slika 16:</b>	Mesečni podatki o povprečni temperaturi in količini sevanja na horizontalni površini, pridobljeni iz podnebne datoteke za Ljubljano.	37
<b>Slika 17:</b>	Graf kumulativne porazdelitvene funkcije (a) povprečnega globalnega prejetega sevanja na horizontalni ploskvi na dan v Sloveniji in (b) povprečne letne temperature zraka v Sloveniji.	38
<b>Slika 18:</b>	Ponazoritev simulacije $VD_{pov}$ na fasadi osrednje zgradbe modela.	42
<b>Slika 19:</b>	Geometrijske značilnosti modela sobe.	43
<b>Slika 20:</b>	Dodajanje nasproti ležeče stavbe na različnih razdaljah za zmanjšanje količine dnevne svetlobe na fasadi in v modelirani sobi.	44

<b>Slika 21:</b>	Ilustracija vpliva FI na osončenost fasadnega ovoja stavbe na primeru modela lamelnih blokov s FZ 40 %.	46
<b>Slika 22:</b>	Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri zazidavah vseh tipologij in leg pri FZ = 40 % in orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu.	47
<b>Slika 23:</b>	Ilustracija vpliva FZ na osončenost fasadnega ovoja stavbe na primeru modelov koridorskih blokov s FZ = 20 % in FZ = 40 % in enakim FI.	48
<b>Slika 24:</b>	Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone različnih FZ pri tipologiji koridorskega bloka z notranjim hodnikom brez zamikov in orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu.	49
<b>Slika 25:</b>	Ilustracija vpliva zamika na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe modela pri tipologiji stolpiča in orientaciji daljših stranic proti vzhodu in zahodu z nespremenjenima FZ in FI.	50
<b>Slika 26:</b>	Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom.	52
<b>Slika 27:</b>	Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri tipologiji stolpiča.	53
<b>Slika 28:</b>	Grafična predstavitev vpliva orientacije stavbe na količino prejetega sončnega sevanja na fasadnem ovoju osrednje stavbe modela zazidave lamelnih blokov s FZ = 30 % in FI = 1,8.	54
<b>Slika 29:</b>	Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri vseh orientacijah zazidav globokih stolpičev (rdeča barva) in koridorskih blokov (modra barva) s FZ = 30 % in postavitvijo brez zamikov.	55
<b>Slika 30:</b>	Primerjava povprečne količine prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela vseh tipologij večstanovanjskih zazidav s FZ = 30 % pri orientaciji daljših stranic stavbe v smereh (a) sever–jug in (b) vzhod–zahod v času ogrevalne sezone.	56
<b>Slika 31:</b>	Prikaz vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na povprečno količino prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela vseh tipologij večstanovanjskih zazidav.	58
<b>Slika 32:</b>	Primerjava mejne vrednosti prejetega sončnega sevanja v času ogrevalne sezone s povprečno količino prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modelov, ki dosegajo najnižje količine prejete sončne energije, koridorskih blokov z zunanjim hodnikom in zamikom po krajši stranici stavb.	60



---

<b>Slika 33:</b>	Primerjava vrednosti $VD_{pov}$ na fasadi različnih nadstropij na primeru dveh skrajnosti, najbolj in najmanj osvetljene osrednje stavbe modelov pri vseh variantah etažnosti.	61
<b>Slika 34:</b>	$VD_{pov}$ na fasadi vseh nadstropij osrednje stavbe pri variantah modelov K1B s FZ = 20 % in Kz4A s FZ = 50 %.	62
<b>Slika 35:</b>	$VD_{pov}$ na fasadi osrednje stavbe pri štirih različnih FI modelih stolpičev s FZ 30 %.	63
<b>Slika 36:</b>	$VD_{pov}$ na fasadi pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe modelov različnih tipologij in postavitev modelov s FZ = 30 %.	64
<b>Slika 37:</b>	$VD_{pov}$ na fasadi pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe modelov globokih stolpičev različnih FI, postavitev in FZ.	65
<b>Slika 38:</b>	Vpliv tipologije objektov na osvetljenost fasad pritličij in prvih nadstropij.	66
<b>Slika 39:</b>	Primerjava vrednosti $VD_{pov}$ na fasadah pritličja osrednje stavbe modelov vseh tipologij, FZ in FI pri vzporedni postavitvi objektov.	67
<b>Slika 40:</b>	Vpliv zamika na osvetljenost fasadnega ovoja stavbe na primeru modelov lamelnih blokov z enakima FZ in FI.	68
<b>Slika 41:</b>	$VD_{pov}$ na fasadi pritličja osrednje stavbe modelov lamelnih blokov pri vseh postavitvah, FZ in FI.	69
<b>Slika 42:</b>	Vpliv posamičnih urbanističnih kazalcev na $VD_{pov}$ na fasadi osrednje stavbe modelov vseh tipologij večstanovanjskih zazidav.	70
<b>Slika 43:</b>	$VD_{pov}$ na fasadi glede na odstotek referenčne ravnine v prostoru z najmanjšim doseženim deležem faktorja dnevne svetlobe (D) v skladu s SIST EN 17037.	73
<b>Slika 44:</b>	Grafična ilustracija postopka izračuna FI pri mejnih vrednostih $VD_{pov}$ na fasadi pritličja osrednje stavbe modelov koridorskih blokov z zunanjim hodnikom pri vseh FZ in postavitvah z najvišjo (KzB) in najnižjo (KzA) osvetljenostjo fasade.	73
<b>Slika 45:</b>	Ustrezno osvetljena globina sobe v pritličju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI, tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav.	77
<b>Slika 46:</b>	Ustrezno osvetljena globina sobe v prvem nadstropju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI, tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav.	78
<b>Slika 47:</b>	Model večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti z rdečo označeno sobo za simulacijo osvetljenosti.	80
<b>Slika 48:</b>	Tloris sobe za simulacijo osvetljenosti v bloku večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti.	81
<b>Slika 49:</b>	Model nižanih stavb večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti z rdečo označeno sobo za simulacijo osvetljenosti.	83

---

<b>Slika 50:</b>	Ilustracija količine prejetega sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe stanovanjske zazidave na Mesarski cesti v času ogrevalne sezone.	85
<b>Slika 51:</b>	Model večstanovanjske zazidave Polje II z rdečo označeno sobo za simulacijo osvetljenosti.	86
<b>Slika 52:</b>	Tloris sobe za simulacije osvetljenosti v bloku večstanovanjske zazidave Polje II.	87
<b>Slika 53:</b>	Ilustracija količine prejetega sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe stanovanjske zazidave Polje II v času ogrevalne sezone.	90
<b>Slika 54:</b>	Količina prejetega sončnega sevanja na enoto tlorisne površine osrednje stavbe modelov različnih tipologij s FZ 20 % in vzporedno postavitvijo stavb pri orientaciji daljših stranic proti severu in jugu ter vzhodu in zahodu.	92
<b>Slika 55:</b>	Tlorisa stolpičev v večstanovanjskih zazidavah (a) Polje I in (b) Nove Poljane.	94
<b>Slika 56:</b>	Tlorisi koridorskega bloka z zunanjim hodnikom (a), lamelnega bloka (b) in koridorskega bloka (c) s sivo označenimi bivalnimi prostori, ki bi bili v primeru orientacije ene od daljših stranic stavbe na jug prikrajšani za direktno osončenost.	95

---

**LIST OF FIGURES**

<b>Figure 1:</b>	A graphic illustration of the structure of the doctoral dissertation.	4
<b>Figure 2:</b>	The heliothermic axis of Paris.	5
<b>Figure 3:</b>	Diagrams illustrating the development of a rectangular building site with parallel rows of tenement-blocks of different heights.	6
<b>Figure 4:</b>	Three generic built forms compared by Lionel March and Leslie Martin: 'pavilions', 'streets' and 'courts'.	7
<b>Figure 5:</b>	Results obtained with different metrics: 1. geometry-based, 2. external solar- and geometry-based and 3. full climate- and geometry-based metrics.	8
<b>Figure 6:</b>	Generic models for simulation featuring different building arrays: 1. horizontally and vertically uniform placement, 2. horizontally uniform and vertically random placement and 3. horizontally random and vertically uniform placement.	9
<b>Figure 7:</b>	Solar mapping showing: (a) the quantity of radiation per m <sup>2</sup> and (b) % of surface solar potential in comparison to an unshaded building.	9
<b>Figure 8:</b>	Annual illuminance > 200 lx in street canyon with ground surface reflectance 0.20 and external wall reflectance (A) 0.45 and (B) 0.75.	11
<b>Figure 9:</b>	Building footprints coloured according to the percentage of compliant rooms ( $D \geq 1\%$ ) and sorted according to the year of construction.	12
<b>Figure 10:</b>	Characteristic housing typologies in Slovenia.	18
<b>Figure 11:</b>	Yearly iso-shadows for 12 m wide buildings with varied height and orientation.	20
<b>Figure 12:</b>	An illustration of the major steps of the workflow.	22
<b>Figure 13:</b>	Examples of the analysed linear buildings with (a) shared vertical access; (b) shared internal horizontal access; (c) shared external horizontal access.	32
<b>Figure 14:</b>	Examples of the analysed point buildings (a) tower and (b) wide tower.	32
<b>Figure 15:</b>	16 CIE standard sky types.	36
<b>Figure 16:</b>	Monthly data on the average temperature and global solar irradiation obtained from the climate file for Ljubljana.	37
<b>Figure 17:</b>	Cumulative distribution function for (a) global horizontal irradiation radiation per day in Slovenia and (b) average day temperature in Ljubljana.	38
<b>Figure 18:</b>	Illustration of the simulation of $VD_{avg}$ on the facade of the central building of the model.	42

<b>Figure 19:</b>	Geometric characteristics of the modelled room.	43
<b>Figure 20:</b>	Addition of an opposing building at various distances to reduce the amount of daylight in on the facade and in the modelled room.	45
<b>Figure 21:</b>	An illustration of the influence of FAR on the insolation on the building facade in the case of linear buildings with shared vertical access and 40% site coverage.	46
<b>Figure 22:</b>	The average amount of solar radiation received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for models of all typologies and placements of buildings with 40% site coverage and longer sides of the building facing east and west.	47
<b>Figure 23:</b>	An illustration of the influence of site coverage on the insolation on the building facade in the case of linear buildings with the shared interior horizontal access and site coverage of 20% and 40%.	48
<b>Figure 24:</b>	The average amount of solar radiation received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for all site coverage values for linear buildings with shared interior horizontal access, parallel placement of buildings and the longer sides of the building facing east and west.	49
<b>Figure 25:</b>	An illustration of the influence of a shift in placement on the insolation on the building facade in towers with equal site coverage, FAR and the longer sides of the building facing east and west.	50
<b>Figure 26:</b>	The average amount of solar energy received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for the typology of linear blocks with shared external horizontal access.	51
<b>Figure 27:</b>	The average amount of solar energy received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for the typology of towers.	52
<b>Figure 28:</b>	A graphic representation of the influence of the orientation of the building on the amount of solar energy received on the facade envelope of the central linear building with the shared vertical access of the model with 30% site coverage and FAR = 1.8.	54
<b>Figure 29:</b>	The average amount of solar energy received per unit area of the facade of the central building of the model during the heating season at all orientations of deep towers (red) and linear blocks with shared internal horizontal access (blue) with 30% site coverage and no shift in the placement of buildings.	56
<b>Figure 30:</b>	A comparison of the average amount of solar energy received per unit area of the central building facade during the heating season for all typologies with 30% site coverage and the orientation of the longer sides of the building to (a) north and south and (b) east and west.	57

<b>Figure 31:</b>	A presentation of the impact of individual urban indicators on the average amount of solar energy received per unit area of the central building facade of the model for all examined residential typologies.	59
<b>Figure 32:</b>	A comparison of the minimum required amount of solar energy during the heating season with the average amount of solar energy received per unit area of the central building facade of models that achieve the lowest amounts of solar energy received, linear blocks with shared external horizontal access and a shift in the layout along the shorter side of buildings.	60
<b>Figure 33:</b>	A comparison of $VD_{avg}$ on the facade of different floors in the case of two extremes, the most and least illuminated central model building in all variations of building heights: variation K1B (i.e. a block with shared internal horizontal access typology with 20% site coverage, maximum FAR = 1.6 and shift in placement along the longer side of the building) and Kz4A ((i.e. a block with shared internal horizontal access typology with 50% site coverage, maximum FAR = 4.0 and no shift in building placement).	61
<b>Figure 34:</b>	$VD_{avg}$ on the facade of all floors of the central building for the model variations K1B with 20% site coverage and Kz4A with 50% site coverage variants.	62
<b>Figure 35:</b>	$VD_{avg}$ on the facade of the central building for the models of towers with 30% site coverage.	63
<b>Figure 36:</b>	$VD_{avg}$ on the 1st and 2nd floor facade of the central building for models of all typologies and placements of buildings with 30% site coverage.	64
<b>Figure 37:</b>	$VD_{avg}$ on the 1st and 2nd floor facade of the central building for models of deep towers for all FAR, site coverage values and placements of buildings.	65
<b>Figure 38:</b>	The influence of the building typology on the amount of daylight on 1st and 2nd floor facades.	66
<b>Figure 39:</b>	A comparison of $VD_{avg}$ values on the ground floor facades of the central model building for all typologies, site coverage and FAR values and parallel placement of buildings.	67
<b>Figure 40:</b>	The impact of a shift in placement of buildings on the amount of daylight on the building facade in blocks with shared vertical access with equal site coverage and FAR.	68
<b>Figure 41:</b>	$VD_{avg}$ for all placements, site coverage ratios and FAR of models of blocks with shared vertical access.	70
<b>Figure 42:</b>	The influence of individual urban indicators on $VD_{avg}$ on the facade of the central building of models of all examined residential typologies.	70
<b>Figure 43:</b>	$VD_{avg}$ vs. the percentage of the reference plane in the room with the minimum achieved daylight factor (D) according to SIST EN 17037.	72

<b>Figure 44:</b>	A graphic illustration of the procedure for the calculation of FAR for minimum values of $VD_{avg}$ on the ground floor facade of the central linear buildings with shared exterior horizontal access for all site coverages and building placements with the highest (KzB) and lowest (KzA) amount of daylight on the facade.	73
<b>Figure 45:</b>	Adequately daylight depth of a room on the ground floor of the central building of the model with respect to FAR, site coverage, building placement and typology.	77
<b>Figure 46:</b>	Adequately daylight depth of a room on the first floor of the central building of the model with respect to FAR, site coverage, building placement and typology.	78
<b>Figure 47:</b>	A model of the residential development Mesarska with the room for daylighting simulation marked red.	80
<b>Figure 48:</b>	Floor plan of the room in Mesarska development for daylighting simulations.	81
<b>Figure 49:</b>	A model of the residential development Mesarska with reduced building height and the room for daylighting simulation marked red.	83
<b>Figure 50:</b>	Illustration of the amount of received solar radiation on the facade of the examined building Mesarska residential development during the heating season.	85
<b>Figure 51:</b>	A model of the residential development Polje II with the room for daylighting simulation marked red.	86
<b>Figure 52:</b>	Floor plan of the room in Polje II development for daylighting simulations.	87
<b>Figure 53:</b>	Illustration of the amount of received solar radiation on the facade of the examined building Polje II residential development during the heating season.	90
<b>Figure 54:</b>	The amount of solar energy received per unit of floor area for the central building of models of different typologies with 20 % site coverage and parallel placement of buildings with the orientation of the longer sides to the north and south, and east and west.	92
<b>Figure 55:</b>	The floor plans of towers in residential developments (a) Polje I and (b) Nove Poljane.	94
<b>Figure 56:</b>	The floor plans of a block with shared external horizontal access (a), shared internal horizontal access (b) and shared vertical access (c) with frequently used rooms marked in grey, which would be deprived of direct sunlight if one of the longer sides of the building faced south.	95

---

**SEZNAM PRILOG**

<b>Priloga A:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 30° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	A
<b>Priloga B:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 60° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	B
<b>Priloga C:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 90° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	C
<b>Priloga D:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 120° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	D
<b>Priloga E:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 150° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	E
<b>Priloga F:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	F
<b>Priloga G:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 30° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	G
<b>Priloga H:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 60° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	H
<b>Priloga I:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 90° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	I
<b>Priloga J:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 120° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	J

---

<b>Priloga K:</b>	Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za $150^\circ$ v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone	K
<b>Priloga L:</b>	$VD_{pov}$ na pritličnih fasadah osrednje stavbe modelov linijskih stanovanjskih zazidav	L
<b>Priloga M:</b>	$VD_{pov}$ na pritličnih fasadah osrednje stavbe modelov točkovnih stanovanjskih zazidav	M
<b>Priloga N:</b>	$VD_{pov}$ na fasadah prvega nadstropja osrednje stavbe modelov linijskih stanovanjskih zazidav	N
<b>Priloga O:</b>	$VD_{pov}$ na fasadah prvega nadstropja osrednje stavbe modelov točkovnih stanovanjskih zazidav	O



---

## LIST OF APPENDICES

<b>Appendix A:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the north vector rotated 30° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	A
<b>Appendix B:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the north vector rotated 60° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	B
<b>Appendix C:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the north vector rotated 90° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	C
<b>Appendix D:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the north vector rotated 120° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	D
<b>Appendix E:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the north vector rotated 150° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	E
<b>Appendix F:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for point building typologies with the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	F
<b>Appendix G:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for point building typologies with the north vector rotated 30° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	G
<b>Appendix H:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for point building typologies with the north vector rotated 60° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	H
<b>Appendix I:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for point building typologies with the north vector rotated 90° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	I
<b>Appendix J:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for point building typologies with the north vector rotated 120° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	J

---

<b>Appendix K:</b>	The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for point building typologies with the north vector rotated 150° clockwise from the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season	K
<b>Appendix L:</b>	$VD_{avg}$ on the the ground floor facades of the central buildings for the models of residential developments with linear typologies	L
<b>Appendix M:</b>	$VD_{avg}$ on the the ground floor facades of the central buildings for the models of residential developments with point building typologies	M
<b>Appendix N:</b>	$VD_{avg}$ on the the first floor facades of the central buildings for the models of residential developments with linear typologies	N
<b>Appendix O:</b>	$VD_{avg}$ on the the first floor facades of the central buildings for the models of residential developments with point building typologies	O

## SEZNAM KRATIC

FI	faktor izrabe gradbene parcele [-]
FZ	faktor zazidanosti gradbene parcele [%]
D	faktor dnevne svetlobe (angl. <i>daylight factor</i> ) [%]
VD	vertikalni faktor dnevne svetlobe (angl. <i>vertical daylight factor</i> ) [%]
VD <sub>pov</sub>	povprečni vertikalni faktor dnevne svetlobe [%]
CIE	Mednarodna komisija za razsvetljavo (fr. <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i> )
T <sub>prim</sub>	temperaturni primanjkljaj (v času kurilne sezone) [K]
G <sub>pa_mejna</sub>	mejna vrednost za pasivne dobitke sončne energije [kWh/m <sup>2</sup> ]
U	koeficient toplotne prehodnosti stekla [W/m <sup>2</sup> K]
g	prepustnost zasteklitve za celotno sončno sevanje [-]
η	faktor izkoriščenosti [-]
SSRS	Stanovanjski sklad Republike Slovenije
JSS MOL	Javni stanovanjski sklad Mestne občine Ljubljana
JSS MOK	Javni stanovanjski sklad Mestne občine Koper

»Ta stran je namenoma prazna«

---

## SEZNAM MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

**Cirkadiani ritem** – angl. *circadian rhythm* je inherentni cikel približno 24 ur, ki nadzoruje različne biološke procese, kot so spanje, budnost in prebavne aktivnosti (Merriam-Webster, 2020).

**Faktor dnevne svetlobe** – angl. *daylight factor* je razmerje med osvetljenostjo točke na dani ravnini zaradi svetlobe, ki jo prejme neposredno ali posredno z neba z domnevno ali poznano razporeditvijo svetlosti, in osvetljenostjo horizontalne ravnine zaradi nezastrite hemisfere tega neba, razen prispevka neposredne sončne svetlobe k obema osvetljenostma (SIST EN 17037). Faktor dnevne svetlobe je primerna metrika za preveritev osvetljenosti v najslabših možnih razmerah, ki vključujejo oblačno nebo (Tregenza in Mardaljevic, 2018), vendar pa ni povsem zanesljiva pri napovedovanju dejanske osvetljenosti z dnevno svetlobo, saj ne vključuje neposredne sončne osvetlitve.

**Faktor izrabe gradbene parcele** – angl. *floor area ratio* je razmerje med bruto tlorisno površino objekta in celotno površino gradbene parcele, pri čemer je bruto tlorisna površina objekta skupna površina vseh etaž objekta, ki so nad terenom in pod njim, samo nad terenom ali samo pod njim (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004). V pričujoči disertaciji je pri izračunu faktorja izrabe gradbene parcele upoštevana površina vseh etaž stavb nad terenom, saj površina pod terenom ne vpliva na osončenost.

**Faktor zazidanosti gradbene parcele** – angl. *site coverage* je razmerje med zazidano površino in celotno površino gradbene parcele (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004).

**Fasadni ovoj ali fasada** – angl. *facade envelope or facade* je gradbeni element stavbe, ki loči notranji prostor pred vplivi zunanjega okolja, daje sončno in zvočno zaščito, varuje pred prevelikimi toplotnimi izgubami in vizualno povezuje notranje prostore z zunanostjo (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2007). Fasada je sestavljena iz zunanjih sten proti neogrevanim prostorom in stavbnega pohištva, ki ga vsebuje.

**Osončenost ali osončenje** – angl. *insolation* je izpostavljenost površine sončnim žarkom (Merriam-Webster, 2020). Izmerimo jo lahko kot količino sončnega obsevanja (energijska komponenta) ali kot naravno osvetljenost (svetlobna komponenta).

**Osvetljenost** – angl. *illuminance* je razmerje med svetlobnim tokom in osvetljeno površino pri pravokotnem vpadu (SSKJ, 2016). Meri se v luksih [lx], ki označujejo osvetlitev, proizvedeno na površini 1 m<sup>2</sup> s svetlobnim tokom 1 lumna, enakomerno porazdeljenega po tej površini (IEV, 2020). Lumen [lm] je enota svetlobnega toka, s katerim opisujemo zaznano moč vidne svetlobe. Enote lumna so pridobljene z utežitvijo radiometrično izraženega sončnega sevanja z efikacijsko krivuljo občutljivosti človeškega očesa na sončno sevanje. Ker naše oko zazna le valovne dolžine med 380 do 780 nm, je izven tega območja vrednost osvetljenosti enaka nič.

**Intenziteta sončnega sevanja** – angl. *solar irradiance* je gostota sončnega sevanja na določeni površini, običajno izmerjena v vatih na kvadratni centimeter [ $\text{W}/\text{cm}^2$ ] ali kvadratni meter [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. Letna ali sezonska izpostavljenost površin sončnemu sevanju se izrazi kot **sončno obsevanje** – angl. *solar irradiation* v  $\text{J}/\text{m}^2$  ali  $\text{kWh}/\text{m}^2$  (Nault et al., 2015).

**Stanovanjska zazidava** – angl. *housing development* je skupina eno- ali večstanovanjskih stavb običajno podobne zasnove, ki jih ponavadi zgradi in proda ali daje v najem en investitor (Merriam-Webster, 2020). V zadnjem času predvsem investitorji stanovanjskih gradenj vsak projekt večstanovanjskih stavb zavajajoče poimenujejo stanovanjska soseka, čeprav nima zagotovljenih nobenih funkcij soseke, razen stanovanj (IPOP, 2020). Taka raba pojma se počasi že ustaljuje v vsakdanji govorici (IPOP, 2020).

**Stavbni ovoj** – angl. *building envelope* predstavljajo vsi tisti elementi stavbe, ki ščitijo notranjost oz. ogrevani del stavbe pred zunanjimi vplivi. Elementi stavbnega ovoja so tla proti terenu oz. neogrevanemu prostoru, zunanje stene proti neogrevanim prostorom, stropi proti neogrevanemu prostoru in stavbno pohištvo.

**Stavbni tip ali tipologija stavb** – angl. *building type or building typology* pomeni razvrstitev stavb po vnaprej definiranih formalnih, funkcionalnih, materialnih, strukturnih skupnih značilnostih (Urbanistični terminološki slovar, 2016). Je orodje za tvorjenje in uravnavanje urbane oblike, organiziranje logike posamezne stavbe, gradbene parcele, stavbnega otoka in celotnega grajenega tkiva (Čerpes et al., 2019).

**Ulični kanjon** – angl. *street canyon* je bil v osnovi izraz za razmeroma ozko ulico s stavbami, ki se neprekinjeno vrstijo vzdolž obeh strani (Nicholson, 1975). Enak izraz se danes uporablja tudi za širše ulice, za katere ni nujno, da se ob obeh straneh neprekinjeno vrstijo stavbe (Vardoulakis et al., 2003). Dimenzije uličnega kanjona so ponavadi izražene z razmerjem med višino stavb in širino ulice (Vardoulakis et al., 2003).

**Urbanistični kazalec** – angl. *urban indicator* je orodje za spremljanje stanja in sprememb v mestnem prostoru (Urbanistični terminološki slovar, 2020). Urbanistični kazalci za gradnjo se določajo na dva osnovna načina: s številom stanovanj na hektar ter s faktorji in deleži, vezanimi na gradbeno parcelo, oz. s kriteriji za izgrajenost zemljišč, ki so faktor izrabe gradbene parcele, faktor zazidanosti gradbene parcele, faktor gradbene prostornine na gradbeno parcelo in delež odprtih bivalnih površin (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004). V disertaciji uporabljeni urbanistični kazalci so le tisti, ki vplivajo na osončenost stavbnega ovoja. S skupnim terminom urbanistični kazalec v pričujoči disertaciji poleg faktorja zazidanosti gradbene parcele in faktorja izrabe gradbene parcele označujemo tudi nekatera druga oblikovna in funkcionalna merila ter pogoje za urejanje prostora znotraj posamezne prostorske enote: tipologijo zazidave, lego objektov in orientacijo fasad.

**Večstanovanjska zazidava** – angl. *multifamily housing development* je skupina večstanovanjskih stavb običajno podobne zasnove, ki jih ponavadi zgradi in proda ali daje v najem en investitor.

»Ta stran je namenoma prazna«



## 1 UVOD

### 1.1 Opredelitev problema

Pozitivni učinki zgoščevanja mest kot strategije za trajnostni razvoj, kot so zmanjšanje potreb po energiji za ogrevanje in mobilnost, možnost učinkovitejše rabe zemljišč ter ohranitev zelenih površin, so splošno sprejeti in integrirani v nacionalne in evropske smernice (OdSPRS, 2004; EU, 2011). Pri tem igra veliko vlogo stanovanjska raba, ki v Sloveniji v nekaterih mestnih občinah predstavlja 50-odstotni delež območja stavbnih zemljišč (Miklavčič et al., 2016). Zgoščevanje stanovanjske zazidave med drugim doprinese k zmanjšanju izpustov CO<sub>2</sub> (Yi et al., 2017). Zahteva po zgoščevanju novih zazidav sovpada tudi s težnjo gradbenih investitorjev, ki želijo doseči visoko gostoto zazidave zaradi ekonomskih razlogov (Iversen, 2013).

Ekonomsko in ekološko najmanj primerna oblika stanovanjske gradnje je zazidava enostanovanjskih hiš (Zavodnik Lamovšek in Brusnjak Hrastar, 2017). Te ne dosegajo dovolj visokih gostot za racionalno in učinkovito rabo zemljišč, ki je eno od načel trajnostnega prostorskega razvoja (ZUreP-2, 2017). Zasedajo potencialne zelene površine in povečujejo količino potrebne infrastrukture ter podaljšujejo migracijske poti, s čimer se večata raba energije in izpusti. Učinkovito rabo zemljišč in najvišje gostote med stanovanjskimi zazidavami dosegajo tipologije večstanovanjskih stavb (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008). Obenem pregosta večstanovanjska zazidava zaradi prenizke osončenosti ne omogoča pasivne in aktivne izrabe sončne energije ter energijske samooskrbe ali celo energijske samozadostnosti, ki so pomembne za trajnostni razvoj. Najširša definicija trajnostnega razvoja pri zasnovi večstanovanjske zazidave zajema več plasti in hkrati pomeni zadovoljitev potreb sedanjega človeškega rodu, ne da bi ob tem ogrozili možnosti prihodnjih rodov, da zadovoljijo svoje potrebe (WCED, 1987). Poleg racionalne rabe zemljišč je za doseganje trajnosti pomembna raba obnovljivih virov, zmanjšanje uporabe neobnovljivih virov in izpolnjevanje osnovnih človekovih potreb (Choguill, 2007). Visoke gostote zazidave zaradi medsebojnega senčenja stavb in s tem zmanjšanja dostopa do najbolj univerzalno dostopnega vira energije – sonca – pomenijo znižanje potenciala osončenja stavb, kar povzroči tako zmanjšanje možnosti uporabe aktivnih sistemov izkoriščanja sončne energije kot solarnih dobitkov ter naravnega osvetljevanja prostorov v njihovi notranjosti. Negativno korelacijo med gostoto pozidave in osončenjem stavbnega ovoja je poudarila vrsta študij (Chatzipoulka, Compagnon in Nikolopoulou, 2016; Cheng et al., 2006), ki med drugim kažejo tudi na zmanjšanje potenciala uporabe aktivnih sistemov izkoriščanja sončne energije (Natanian in Auer, 2018). Pravilno izkoriščanje sončne energije v stanovanjskih stavbah je zelo pomembno, saj te v Evropski uniji predstavljajo do 75 % stavb (Herczeg et al., 2014), 27,2-odstotni delež končne porabe energije in 12,1-odstotni delež toplogrednih izpustov (EU, 2019).

Stanovanjske stavbe so tudi pomemben okoljski dejavnik, ki vpliva na zdravje in počutje uporabnikov, saj v njih preživimo največji del svojega življenja (Klepeis et al., 2001; Schweizer et al., 2007). Naravno

osvetljevanje bivalnih prostorov vedno bolj presega tradicionalni argument varčevanja z energijo. Dnevna svetloba namreč pomaga pri izpolnjevanju človekovih fizioloških in psiholoških potreb z edinstvenimi lastnostmi, ki jih umetna svetloba ne more posnemati (Boubekri, 2008). Raziskave kažejo na vzročno povezavo med svetlobo ter nekaterimi fiziološkimi in psihološkimi vidiki zdravja ljudi (Dovjak in Kukec, 2019). Osvetljenost prostorov dokazano neposredno vpliva na mentalno zdravje ljudi (Evans, 2003). Pomanjkanje dnevne svetlobe v stanovanjskih stavbah je povezano z depresijo (Brown in Jacobs, 2017), motnjami spanja in večjim pojavljanjem rakavih obolenj (Rahman, St. Hilaire in Lockley, 2017; Davis et al., 2001). Višja raven izpostavljenosti svetlobi spodbuja telesno aktivnost in daljše trajanje spanja (Boubekri et al., 2014). Pomen svetlobe kot bistvenega elementa zdravega življenja je dodatno izpostavilo nedavno odkritje specializiranega fotoreceptorja v očesu, ki je odgovoren za sinhronizacijo našega notranjega cirkadianega spodbujevalnika (Berson, Dunn in Takao, 2002). To odkritje je še bolj poudarilo pomen zasnove stanovanj z upoštevanjem količine naravne dnevne svetlobe, ki je pomembna za ohranjanje sinhronizacije človeškega cirkadianega sistema (Andersen, Gochenour in Lockley, 2013).

Nasprotujoče si zahteve po doseganju višjih gostot, ki sledijo smernicam trajnostnega načrtovanja mest, in osvetljenosti z naravno svetlobo ter rabi obnovljivih virov energije na ravni stavbe, privedejo do nekonsistentnih rešitev pri načrtovanju trajnostne večstanovanjske zazidave. V praksi so v Sloveniji nove večstanovanjske zazidave zasnovane v skladu z zahtevami o gostoti, predvidene s prostorskimi akti. Edina predpisa na nivoju države, ki sta neposredno povezana z osončenostjo in osvetljevanjem, sta Tehnična smernica TSG-1-004: 2010 Učinkovita raba energije (2010) in Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (2011), ki predpisujeta minimalno osončenost stavbnega ovoja v urah in velikost minimalnih odprtih za zagotavljanje svetlobe.<sup>1</sup> V praksi ju arhitekti uporabljajo pri zasnovi posameznih stavb, saj je njuno uporabo težko implementirati v zgodnejše faze načrtovanja večstanovanjskih zazidav.

V zadnjih desetletjih je razvoj informacijske tehnologije omogočil zelo natančno določanje energijske in svetlobne komponente osončenosti fasad in notranjosti stavb s simulacijami.<sup>2</sup> Te omogočajo natančne preveritve doseganja mejnih vrednosti osončenosti stavbnega ovoja, ki še dovoljujejo izkoriščanje sončne energije in zadostno osvetlitev notranjosti stavb ter presegajo zahteve slovenske zakonodaje o urah osončenosti stavbnega ovoja in deležu fasadnih odprtih, namenjenih osvetlitvi. Računalniške simulacije osončenosti se v glavnem uporabljajo v kasnejših fazah načrtovanja, ko so gostota zazidave, tipologija in lega stavb že določeni, saj zahtevajo veliko podrobnih podatkov o zasnovi zazidave, ki v zgodnjih fazah načrtovanja še niso jasni (Beckers in Rodríguez, 2009). Takrat lahko na izboljšanje osončenosti fasad in osvetljenosti prostorov vplivamo le še z manjšimi spremembami, kot so povečanje

<sup>1</sup> Slovenska zakonodaja s področja osončenosti stanovanjske zazidave je podrobneje opisana v poglavju 3.3.

<sup>2</sup> Sodobne raziskave s področja osončenosti in osvetljevanja so podrobneje opisane v poglavjih 2.2 in 2.3.

odprtih, namenjenih naravnemu osvetljevanju, ali s spremembo reflektivnosti površin. S prenosom uporabe sodobnih načinov preveritev osončenosti na urbanistični nivo bi bilo mogoče določiti vpliv posameznih elementov urbanističnih zasnov večstanovanjskih zazidav na osončenost stavb. Spoznanja bi pripomogla pri optimizaciji urbanističnih zasnov večstanovanjskih zazidav: doseganju racionalne rabe zemljišč in višjih gostot ob osončenosti stavb, ki še omogoča izrabo sončne energije in zadostno naravno osvetljevanje bivalnih prostorov stavb.

## 1.2 Cilji raziskovalnega dela

Glavni cilj doktorske disertacije je raziskati odnos med izbranimi urbanističnimi kazalci in osončenostjo večstanovanjske zazidave z odprtim vzorcem zidave na podlagi oblikovanih hipotez naloge.

Konkretno smo želeli določiti vpliv stavbnega tipa, lege večstanovanjskih stavb, orientacije stavb glede na strani neba ter gostote zazidave glede na faktor zazidanosti (FZ) in faktor izrabe (FI) na osončenost stavbnega ovoja in osvetljenost notranjosti stavbe. Menimo namreč, da lahko z optimizacijo urbanistične zasnove bistveno pripomoremo k bolj trajnostni večstanovanjski zazidavi.

Končni cilj je na podlagi rezultatov raziskovanja oblikovati priporočila za urbanistično načrtovanje večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave, ki temeljijo na osončenosti stavbnega ovoja.

## 1.3 Predstavitev hipotez

**Hipoteza 1:** Gostota, tipologija in lega stavb večstanovanjske zazidave z odprtim vzorcem zidave imajo odločilen vpliv na osončenost stavbnega ovoja.

**Hipoteza 2:** Pri enakem faktorju izrabe večstanovanjske zazidave z odprtim vzorcem zidave je z variacijo faktorja zazidanosti, tipologije in lege stavb mogoče doseči različno osončenost stavbnega ovoja.

Poglavitna znanstvena vprašanja:

– Ali je mogoče definirati povezavo med osončenostjo stavbnega ovoja ter gostoto večstanovanjske zazidave, tipologijo, lego in orientacijo večstanovanjskih stavb in na podlagi izvedenih analiz razviti priporočila, ki bi pripomogla optimizirati zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave z vidika osončenosti stavbnega ovoja?

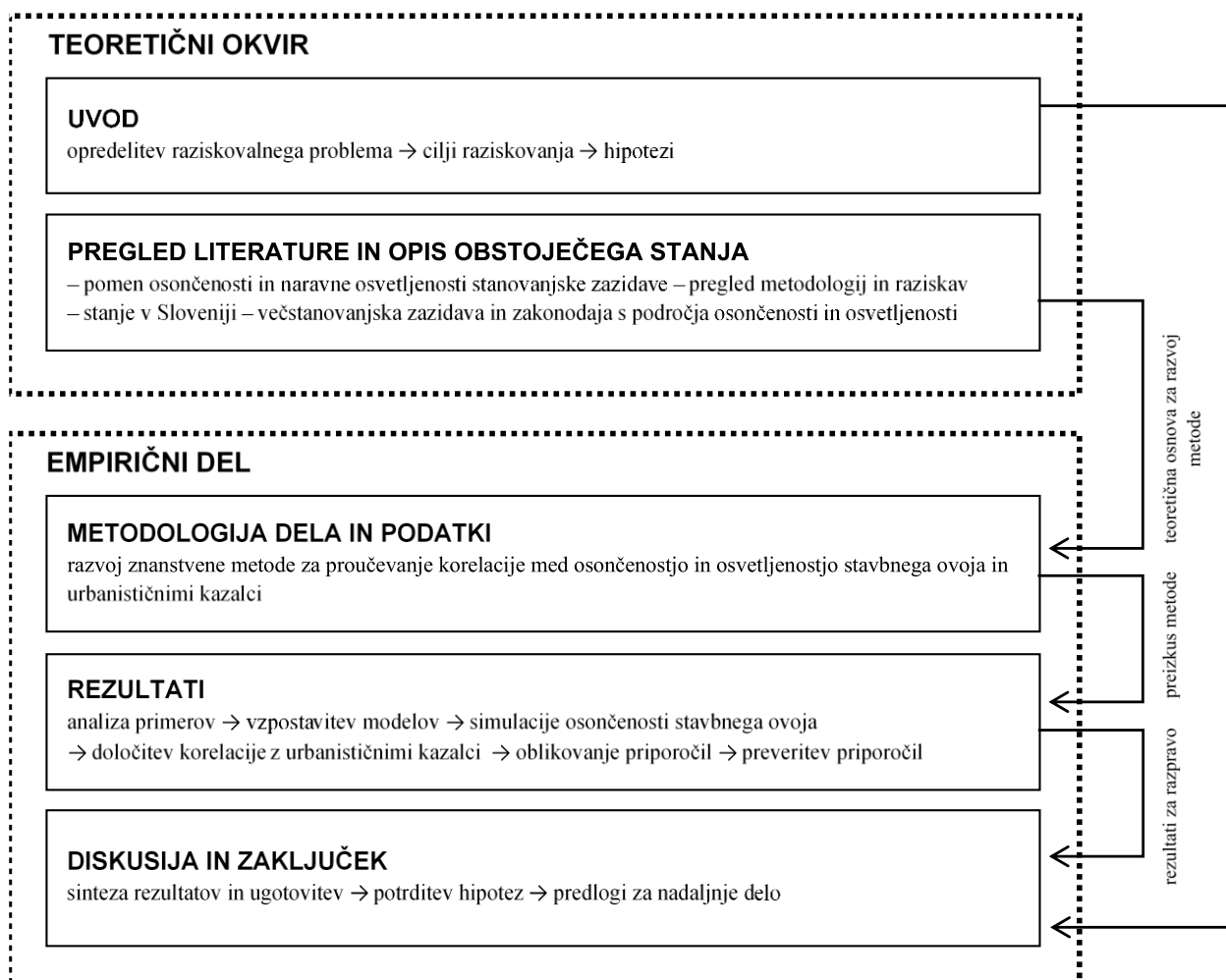
– Ali je za določitev maksimalne gostote zazidave bolj odločujoč vpliv svetlobnega ali energijskega vidika osončenosti?

– Kateri od urbanističnih kazalcev najbolj vpliva na osončenost stavb: gostota, tipologija, lega ali orientacija stavb?

## 1.4 Struktura doktorske disertacije

Naloga je razdeljena v pet osnovnih vsebinskih sklopov (slika 1). Prvi in drugi sklop predstavljata teoretični okvir za empirični del naloge. Prvi sklop zajema uvod z opredelitvijo teme naloge, opisom ciljev raziskovanja, znanstvenimi vprašanji, hipotezami in opredelitvijo delovnega procesa. V drugem sklopu sta v dveh ločenih poglavjih predstavljena pregled literature in opis obstoječega stanja, ki predstavljata teoretično osnovo za razvoj metode.

Zadnji trije sklopi sestavljajo osrednji, empirični del naloge. Prvi med njimi obsega predstavitev metodološkega pristopa k proučevanju korelacije med osončenostjo stavbnega ovoja in izbranimi urbanističnimi kazalci. V drugem sklopu empiričnega dela je v zaporednih korakih določena korelacija med urbanističnimi kazalci ter svetlobno in energijsko komponento osončenosti, na kateri temeljijo priporočila za optimizacijo zasnov večstanovanjskih zazidav glede na osončenost stavbnega ovoja. Zadnji sklop naloge obsega potrditev delovnih hipotez, ugotovitve in razpravo ter podaja možnosti uporabe razvite metodologije in priporočil. Naloga se zaključi z oceno doprinosa k razvoju stroke in znanosti ter predlogi za nadaljnje delo.



Slika 1: Grafični prikaz strukture doktorske disertacije. Vir: lasten.

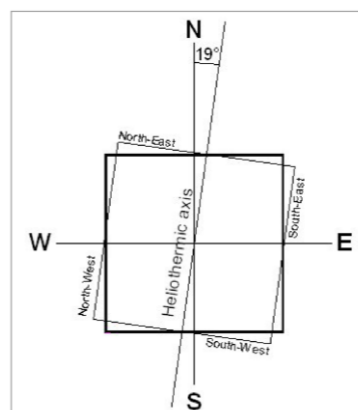
Figure 1: A graphic illustration of the structure of the doctoral dissertation. Source: author.

## 2 RAZISKOVANJE ODNOSA OSONČENOSTI STANOVANJSKE ZAZIDAVE Z URBANISTIČNIMI KAZALCI

### 2.1 Začetki raziskovanja povezave med osončenostjo in urbanistično zasavo

Povezanost človeka s soncem je že od nekdaj prisotna tudi v grajenih strukturah. Kot predmet arhitekturnega raziskovanja se je osončenost stavb uveljavila v poznem devetnajstem in v začetku dvajsetega stoletja v severni Evropi (Montavon, 2010). Potreba po stanovanjskih in urbanističnih predpisih se je pojavila, ko je postalo očitno, da pogoste bolezni in epidemije v številnih mestih novo industrializiranega sveta povzročajo nezdravo fizično okolje (Boubekri, 2008). Kot piše M. Montavon (2010), se je takrat v Angliji pričelo gibanje, imenovano higienizem, ki je med drugim poudarjalo pomen sončne svetlobe pri urbanističnem načrtovanju. V skladu z načeli tega gibanja so si arhitekti, znanstveniki, zdravniki in strokovnjaki na mnogih področjih prizadevali za izdelavo urbanističnih načrtov, ki so predvidevali dobro izpostavljenost sončnemu sevanju. Eden od pristopov k raziskovanju osončenosti stavb, ki izhaja iz devetnajstega stoletja, je teorija uličnih profilov. Mnogo različnih avtorjev je podalo priporočila v zvezi z razmerjem višine stavb in širine ulic. Ta so bila včasih podprta z izračuni, ki so upoštevali vpadni kot sončnih žarkov in orientacijo ulic.

Začetek dvajsetega stoletja je bil na področju arhitekture priča novemu gibanju, ki je prevzelo sodobnost in zavračalo stare načine oblikovanja stavb. Moderna arhitektura je poudarjala ravne linije, čiste oblike in velike površine oken, ki omogočajo osvetljenost prostorov z naravno svetlobo (Boubekri, 2008). V tem času se je pojavila vrsta teorij, ki so podpirale različne orientacije fasad in ulic. Ena najbolj vplivnih je bila teorija o heliotermični osi (Bardès, Rey in Pidoux, 1928), ki naj bi z odklonom  $19^\circ$  od osi sever-jug (za Pariz) omogočala optimalno osončenost stavbe (slika 2). Med pripadniki te teorije je najbolj znan Le Corbusier, ki jo je v svojih načrtih uporabljal do leta 1945 (Montavon, 2010).



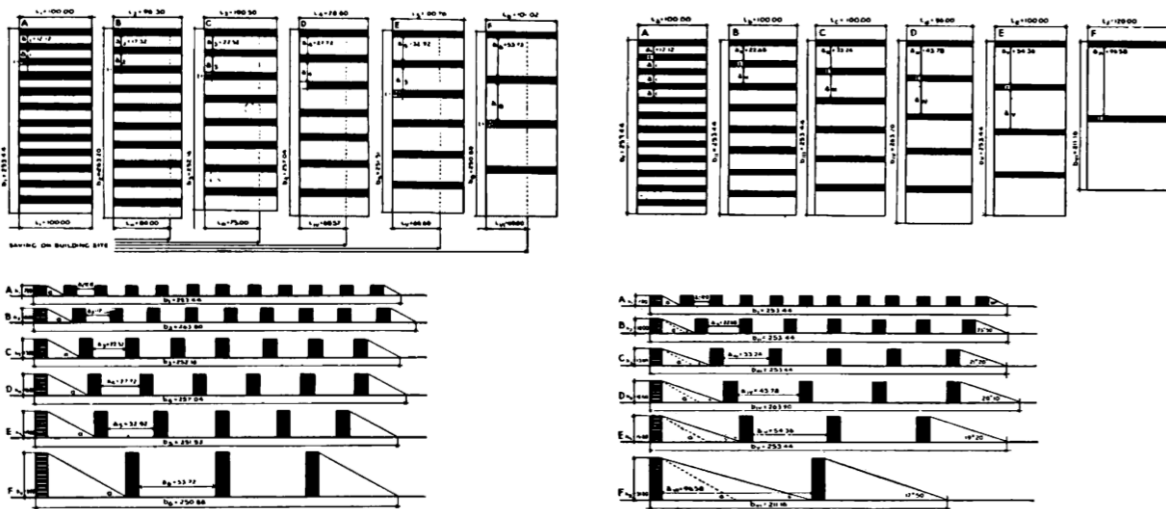
**Slika 2:** Heliotermična os Pariza. Vir: Montavon et al., 2006.

**Figure 2:** The heliothermic axis of Paris. Source: Montavon et al., 2006.

Montavon (2010) navaja, da je sredi dvajsetega stoletja kot posledica modernizma iz urbanističnih načrtov izginil urbani kare. Nove zazidave večstanovanjskih stavb so bile linijski, vzporedno postavljeni

bloki. Avtorji, kot so Le Corbusier, Ludwig Hilberseimer in Walter Gropius so določili univerzalna pravila lege stavb, ki naj bi upoštevala optimalno osvetljenost z dnevno svetlobo.

Gropius (1965) je v svojih spisih med drugim proučil tudi vprašanje racionalnega umeščanja stavb v prostor, ki zagotavlja optimalno osvetljenost z dnevno svetlobo in prezračevanje. Tukaj se je pojavila jasna povezava med osončenostjo in gostoto poselitve: 10–12 nadstropij visoke stavbe naj bi bile od 3-, 4- ali 5-nadstropnih stavb boljše v smislu večje gostote prebivalstva, ki jo je mogoče doseči z manj stroški ob ohranjanju dostopa do več svetlobe, zraka in prostora (slika 3).



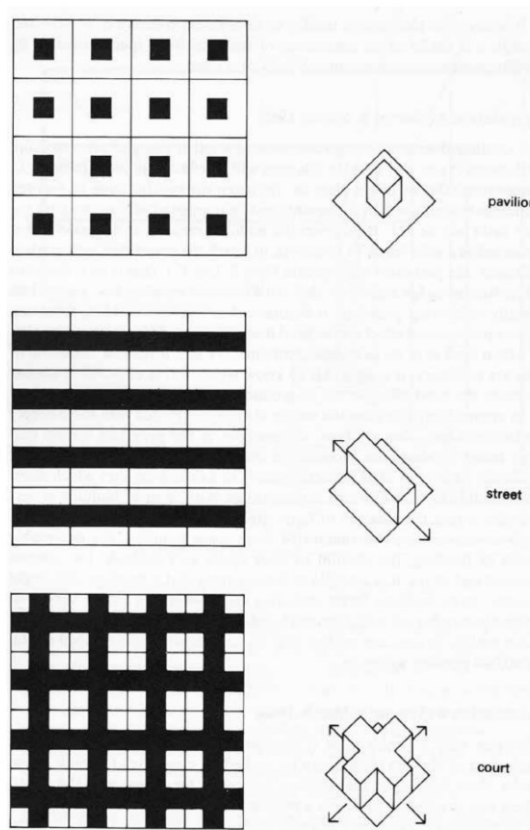
Slika 3: Diagrama pozidave pravokotnega zemljišča z vzporednimi vrstami stanovanjskih blokov različnih višin. Vir: Gropius, 1965.

Figure 3: Diagrams illustrating the development of a rectangular building site with parallel rows of tenement-blocks of different heights. Source: Gropius, 1965.

## 2.2 Sodobne raziskave in uporaba računalniških orodij pri raziskovanju urbane forme in osončenosti

Raziskave osončenosti in gostote zazidave so se z uporabo različnih metod nadaljevale; od sedemdesetih let dvajsetega stoletja so bile podprte z računalniškimi orodji. Med najvplivnejšimi pionirji na tem področju sta bila Lionel March in Leslie Martin s sodelavci z Univerze v Cambridgeu v Veliki Britaniji (Martin in March, 1972). S pomočjo računalnika so preverili veliko paleto urbanih form in za razliko od svojih predhodnikov ugotovili, da je z vidika optimizacije izrabe zemljišča najbolj učinkovita oblika zazidave urbani kare s štirimi nadstropji (slika 4). Leta 2003 so omenjene študije razširili z uporabo tehnike za analizo urbanega okolja, ki temelji na orodju za digitalno obdelavo podob in digitalnem modelu višin (Ratti, Raydan in Steemers, 2003). Proučili so šest arhetipskih oblik, pri katerih je bil faktor izrabe zemljišča enak; ugotovili so, da je učinkovitost urbanih oblik odvisna od podnebnega tipa območja, v katerem se nahajajo.

Sedemdeseta leta dvajsetega stoletja so bila tudi čas, ko se je spremenila narava zanimanja za osončenje, ki je bila do takrat povezana predvsem z zagotavljanjem zdravega okolja za veliko število ljudi. Naftna kriza v tem času je spodbudila zanimanje za energijsko učinkovitost stavb v svetovnem merilu (Košir, 2019). S stabilizacijo cen nafte je zanimanje sicer pojenjalo, potem pa ponovno vzniknilo v poznih devetdesetih letih, ko je naraščajoča zaskrbljenost zaradi globalnega segrevanja, ozonske luknje in izčrpanja fosilnih virov energije postavila energijsko učinkovitost v ospredje arhitekturne prakse in raziskav (Košir, 2019). To velja tako za aktivno in pasivno izkoriščanje sončne energije kot tudi za aktivno in nadzorovano rabo naravne svetlobe za osvetljevanje stavb kot alternative umetni razsvetljavi (Boubekri, 2008).

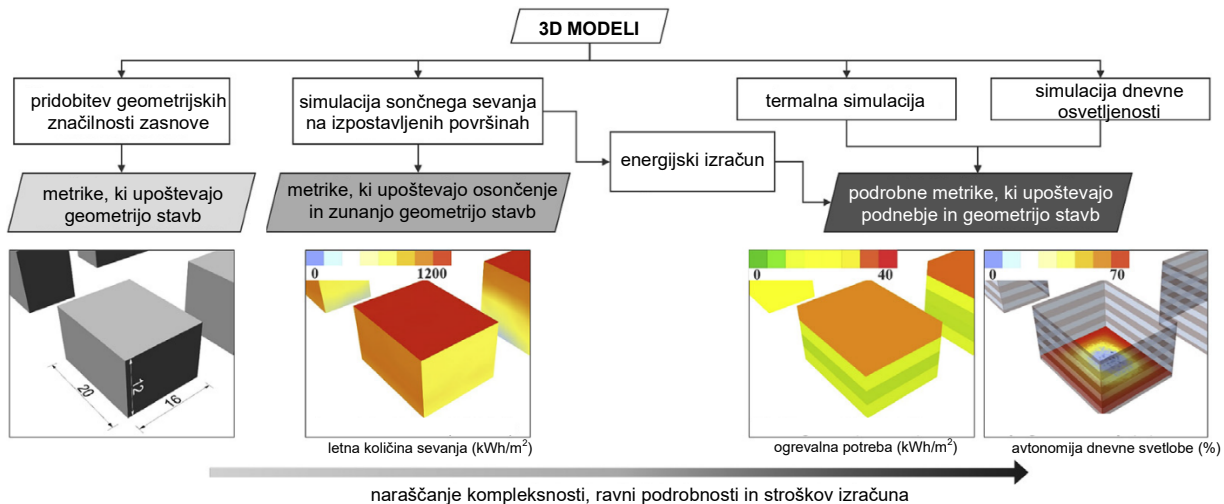


**Slika 4:** Tri generične oblike zazidave, ki sta jih primerjala Lionel March in Leslie Martin: točkovna, linijska in karejska. Vir: Steadman, 2018.

**Figure 4:** Three generic built forms compared by Lionel March and Leslie Martin: 'pavilions', 'streets' and 'courts'. Source: Steadman, 2018.

Sodobne raziskave osončenosti stavb v kontekstu okoliške zazidave lahko glede na metrike, ki jih uporabljajo, grobo razdelimo v tri kategorije (slika 5). Prva kategorija zajema raziskave, ki temeljijo izključno na geometriji in morfologiji stavbnega tkiva, na primer na faktorju izrabe zemljišča ali razmerju površin s prostornino objektov. Raziskave iz druge kategorije upoštevajo vpliv geometrije in morfologije urbane strukture na izpostavljenost zunanjih površin soncu, ki je izražena v količini sončnega sevanja v kWh/m<sup>2</sup> ali osvetljenosti v klx. Primeri raziskav iz te kategorije vključujejo povprečno osončenost fasad med ogrevalno sezono in odstotek površine, ki je osvetljen nad določenim

pragom. Raziskave v tretji kategoriji zajemajo kompleksne računalniške izračune, ki podrobno upoštevajo podnebje in geometrijo objektov, in jih bolj množično uporabljamo pri oceni posameznih stavb. Primeri vključujejo prostorsko avtonomijo dnevne svetlobe in izračun potrebe po energiji za ogrevanje stavbe. Večina raziskav osončenosti v urbanem kontekstu sodi v drugo kategorijo (Nault et al., 2015).

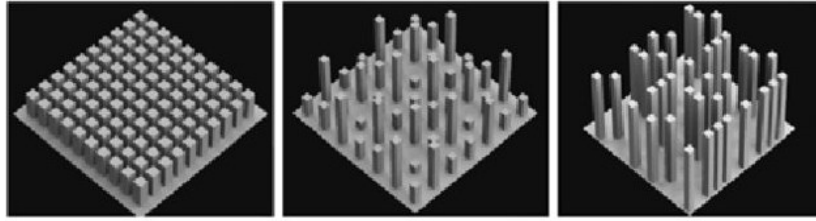


**Slika 5:** Rezultati raziskav, pridobljeni z različnimi metrikami, ki temeljijo na: 1. geometriji, 2. vplivu geometrije na izpostavljenost zunanosti stavb soncu in 3. podrobnih izračunih, ki upoštevajo podnebje in geometrijo stavb. Nivo kompleksnosti, število potrebnih vhodnih in izhodnih podatkov in strošek računalniških simulacij naraščajo od leve proti desni strani. Vir: Nault et al., 2015.

**Figure 5:** Results obtained with different metrics: 1. geometry-based, 2. external solar- and geometry-based and 3. full climate- and geometry-based metrics. The level of complexity, the detail of input and output, and the computational cost increases from left to right. Source: Nault et al., 2015.

Učinkovito metodo za določitev mejnih vrednosti osončenosti in osvetljenosti stavbnega ovoja v kontekstu okoliške zazidave je v odmevnem članku predstavil Raphaël Compagnon (Compagnon, 2004). Njegov način določanja mejnih vrednosti osončenosti za pasivne dobitke in učinkovito osvetljevanje z dnevno svetlobo ter mejne vrednosti za implementacijo fotonapetostnih modulov so prevzeli drugi raziskovalci. Mejne vrednosti osončenosti za fotonapetostne module so uporabili avtorji raziskave o različnih učinkih horizontalne in navpične naključnosti lege in višin stavb na sončni potencial (Cheng et al., 2006). Ugotovitve so pokazale, da imajo pri zazidavah z enakim faktorjem izrabe (FI) višji sončni potencial zazidave z nizkim faktorjem zazidanosti (FZ) ter naključno lego in različno višino stavb (slika 6).

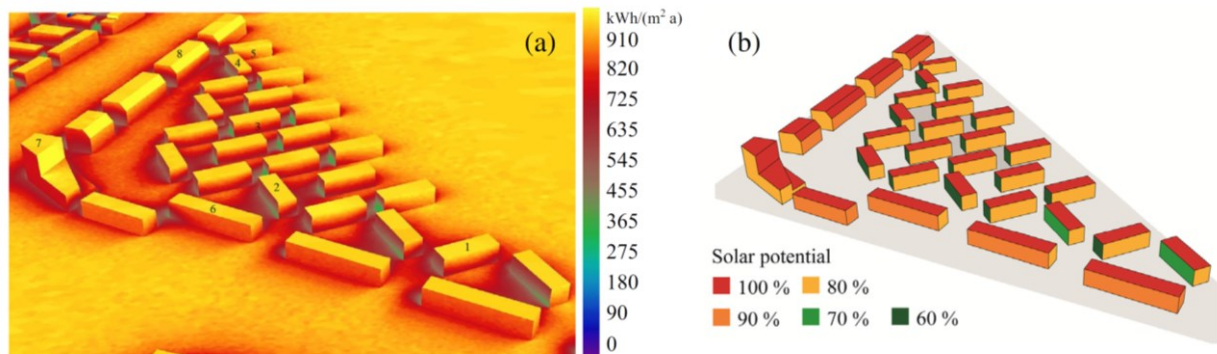




**Slika 6:** Generični modeli za simulacijo z različnimi razporeditvami stavb: 1. horizontalno in vertikalno enotno razporeditvijo, 2. horizontalno enotno in vertikalno naključno razporeditvijo in 3. horizontalno naključno in vertikalno enotno razporeditvijo. Vir: Cheng et al., 2006.

**Figure 6:** Generic models for simulation featuring different building arrays: 1. horizontally and vertically uniform placement, 2. horizontally uniform and vertically random placement and 3. horizontally random and vertically uniform placement. Source: Cheng et al., 2006.

Raziskava letnega potenciala za aktivne sisteme izkoriščanja sončne energije tipičnih švedskih mestnih karejev, ki je bila izvedena z namenom razviti smernice za načrtovalce in arhitekta (Kanters, Wall in Dubois, 2014), je pokazala, da je vpliv zasnove urbanih karejev na celotno letno proizvodnjo energije, pridobljeno iz sončnega sevanja velik, do 50-odstoten. Izsledki raziskave kažejo, da je lahko prispevek aktivnih sistemov za izkoriščanje sončne energije pomemben tudi v mestnem okolju, vendar lahko senčenje sosednjih stavb močno omeji skupno količino proizvedene energije. Podobna raziskava s ciljem oblikovati urbanistična priporočila za povečanje solarnega potenciala v skandinavskem okolju, izvedena na Norveškem (Lobaccaro et al., 2017; slika 7), je pokazala, da se lahko z optimizacijo urbane morfologije, natančneje orientacije, višine stavb in razdalje med stavbami, ter z izbiro zaključnih materialov in barv v zgodnjih fazah načrtovanja solarni potencial poveča za do 25 % in da donos energije iz integriranih aktivnih solarnih sistemov tudi v nordijskem podnebjju lahko zadosti do 55 % celotne potrebe po primarni energiji za obravnavano mestno okolje.



**Slika 7:** Solarno mapiranje s prikazom: (a) letno prejete sončne energije na površini 1 m<sup>2</sup> in (b) odstotek prejete energije na površini v primerjavi z neosenčeno stavbo. Vir: Lobaccaro et al., 2017.

**Figure 7:** Solar mapping showing: (a) the quantity of radiation per m<sup>2</sup> and (b) % of surface solar potential in comparison to an unshaded building. Source: Lobaccaro et al., 2017.

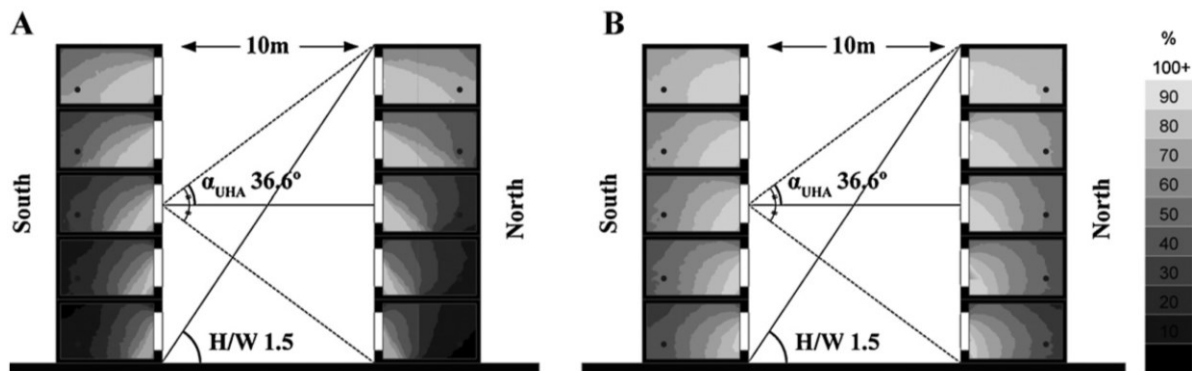
Povezava med urbanističnim in energijskim načrtovanjem je bila tema parametrične raziskave tipologij na nivoju zazidalnega otoka, ki so jo izvedli v Tel Avivu (Natanian in Auer, 2018). Raziskan je bil vpliv deleža odprtin, namenjenih osvetlitvi, razmerja stranic stavb in FI na potrebno energijo za hlajenje,

prostorsko avtonomijo dnevne osvetljenosti in primerjavo skladanja med povprečno mesečno rabo energije v stavbah z električno energijo, proizvedeno s fotonapetostnimi moduli. Ena od ugotovitev raziskave je bila, da je mogoče vpliv gostote zazidave na energijske spremenljivke jasno razbrati pri vseh tipologijah in da pri večjih gostotah zazidave medsebojno senčenje med stavbami poveča razliko med produkcijo elektrike in njeno rabo predvsem zaradi zmanjšanja proizvodnje električne energije s fotonapetostnimi moduli na fasadah, pri čemer zmerno zmanjšanje rabe energije zaradi povečanja osenčenja fasad ne zadostuje za uravnoteženje zmanjšanja proizvodnje električne energije s fotonapetostnimi moduli.

### **2.3 Raziskave osvetljenosti z dnevno svetlobo v urbanem merilu**

V zadnjih letih se je povečalo tudi število raziskav o dnevni svetlobi v urbanem merilu (Nasrollahi in Shokri, 2016). Vertikalni faktor dnevne svetlobe (VD), ki je opredeljen kot razmerje med količino difuzne svetlobe, padajoče na vertikalno ravnino stavbe, in količino svetlobe, ki v istem trenutku osvetljuje horizontalno ravnino pri neovirani hemisferi, v Hongkongu od leta 2003 uporabljajo kot minimalno merilo osvetljenosti stavb. Preprosta metode izračuna VD kot merila za oceno potenciala stavb za osvetljevanje z naravno svetlobo se je ob primerjavi z drugimi metodami simulacije osvetljevanja prostorov (Li et al., 2009) izkazala za učinkovito.

Študija uličnih kanjonov (Rohli in Vega, 2018), v kateri je bilo raziskano razmerje med stopnjo osvetljenosti zunanje površine na fasadah in stopnjo osvetljenosti v notranjosti prostora na referenčni ravnini s pomočjo faktorja dnevne svetlobe (D) in VD (Iversen, Nielsen in Svendsen, 2011), je pokazala, da se VD zmanjša z ožanjem ulic in višanjem nasproti stoječih si stavb. Izsledki med drugim kažejo, da povečana reflektivnost fasade nasproti stoječe stavbe povzroči višje ravni VD zaradi odboja žarkov, ki med drugim prodrejo tudi globlje v notranjost prostora. Študija je bila kasneje razširjena s primerjavo prej omenjene metrike z dinamičnimi simulacijami dnevne svetlobe (Iversen, 2013). Vpliv gostote zazidave in izbire fasadnih materialov na osvetljenost z dnevno svetlobo in pasivne sončne dobitke v urbanih kanjonih sta z dinamičnimi simulacijami energijske učinkovitosti stavb in osvetljenosti raziskala tudi Strømman-Andersen in Sattrup (2011; slika 8). Njune ugotovitve kažejo, da geometrija urbanih kanjonov vpliva na skupno rabo energije v razponu do + 30 % za pisarne in + 19 % za stanovanja, kar kaže, da je geometrija urbanih kanjonov ključni dejavnik rabe energije v stavbah.

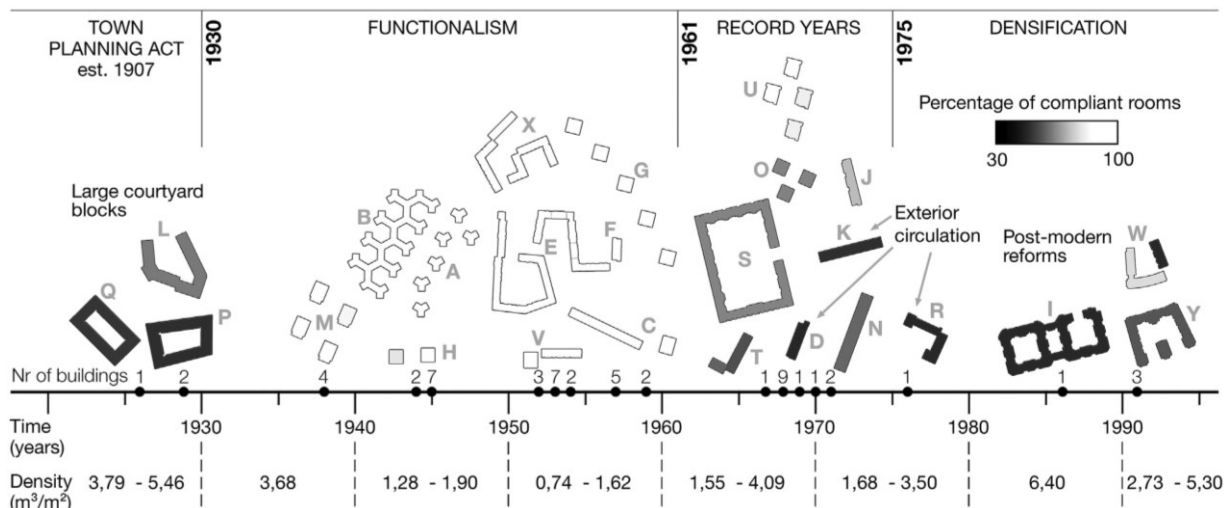


**Slika 8:** Letna osvetljenost  $> 200$  lx v uličnem kanjonu v Københavnu pri reflektivnosti tal 0,20 in reflektivnosti zunanega zidu (A) 0,45 in (B) 0,75. Vir: Strømman-Andersen in Sattrup, 2011.

**Figure 8:** Annual illuminance  $> 200$  lx in street canyon with ground surface reflectance 0.20 and external wall reflectance (A) 0.45 and (B) 0.75. Source: Strømman-Andersen and Sattrup, 2011.

Za razliko od zadnjih štirih navedenih raziskav, ki so bile omejene na ulične kanjone in niso upoštevale drugih mestnih morfologij in stanovanjskih tipologij, so Zhang in sodelavci (2012) predlagali nov kazalec dnevne svetlobe v kontekstu okoliške zazidave, ki bi ga bilo mogoče uporabiti pri vseh oblikah in gostotah zazidave: vertikalni faktor dnevne svetlobe na enoto tlorisne površine stavbe. Izračunali so ga kot povprečni VD ( $VD_{pov}$ ), deljen s skupno nadzemno tlorisno površino stavbe. Preveritev uporabnosti predlaganega kazalca s simulacijami osvetljenosti pri velikem številu generičnih oblik stavb in štirih scenarijih gostote je pokazala na močno pozitivno korelacijo med predlaganim indikatorjem in referenčnim indikatorjem dnevne svetlobe v notranjosti stavb, povprečnim D na delovni ravnini.

Zmerno korelacijo med gostoto stanovanjske zazidave in osvetlenostjo notranjih prostorov so dokazali tudi v nedavno izvedeni obširni raziskavi o skladnosti obstoječe večstanovanjske zazidave z zakonodajo na področju osvetljevanja z dnevno svetlobo na Švedskem (Bournas in Dubois, 2019). Reprezentativni vzorec 54 stavb z 10888 prostori je bil izbran glede na pomembnost arhitekturnih tipologij v okviru švedske urbanistične zgodovine. Ocena skladnosti osvetljenosti prostorov z zakonodajo je temeljila na izračunu D, ki mora biti na Švedskem v skladu z zakonodajo v bivalnih prostorih večji ali enak 1 %. Poleg zmerne korelacije osvetljenosti prostorov z gostoto pozidave rezultati raziskave kažejo na močno povezavo med osvetlenostjo in tipologijo objektov. Med drugimi rezultati je razpoznaven velik vpliv švedskih stanovanjskih politik in praks v določenih zgodovinskih obdobjih urbanističnega načrtovanja, saj je skladnost s predpisi močno odvisna od obdobja nastanka stavb (Bournas in Dubois, 2019; slika 9).



**Slika 9:** Obrisi stavb, obarvani glede na odstotek sob, ki so skladne s švedsko zakonodajo ( $D \geq 1\%$ ), razvrščeni po letu izgradnje. Vir: Bournas in Dubois, 2019.

**Figure 9:** Building footprints coloured according to the percentage of compliant rooms ( $D \geq 1\%$ ) and sorted according to the year of construction. Source: Bournas and Dubois, 2019.

## 2.4 Pomembni izsledki raziskav osončenosti stavb v kontekstu okoliške zazidave

Prej našete raziskave kronološko prikazujejo razvoj različnih metrik preverjanja osončenosti stavb – od enostavnih preizkusov ur osončenosti do kompleksnejših, s katerimi je z upoštevanjem podnebnih pogojev mogoče določiti količino prejetega sončnega sevanja in naravne svetlobe na ovoju stavb in osvetljenosti prostorov v stavbah. Pokazale so, da na osončenost stavbnega ovoja vplivajo različni urbanistični kazalci, med drugim gostota, torej FZ in FI (Gropius, 1965; Lobaccaro et al., 2017), tipologija (Ratti, Raydan in Steemers, 2003; Lobaccaro et al., 2017) in lega stavb (Cheng et al., 2006). Pri tovrstnih raziskavah so ključnega pomena podnebni robni pogoji. Ti neposredno vplivajo na rezultate in vodijo do različnih zaključkov o vplivu posamičnih kazalcev na osončenost, kot na primer o najboljši tipologiji za doseganje večje osončenosti stavbnega ovoja (Ratti, Raydan in Steemers, 2003), zato je pomembno, da vpliv posamičnih kazalcev določimo z upoštevanjem podnebnih značilnosti območja, kjer se nahaja proučevana zazidava. Lokacija večstanovanjskih zazidav lahko na rezultate raziskav o osončenosti vpliva tudi posredno. Kot je pokazala raziskava o osvetljevanju večstanovanjske zazidave na Švedskem (Bournas in Dubois, 2019), je osvetljenost stanovanj neobhodno povezana s kulturo bivanja, specifičnim prostorsko-političnim in zgodovinskim razvojem urbanističnega načrtovanja v izbranem kraju. Na značilnosti novih večstanovanjskih zazidav v Sloveniji, ki vplivajo na osončenost stavbnega ovoja, kot sta na primer tipologija in gabariti stavb, so odločilno vplivale posebnosti razvoja stanovanjskih politik in zakonodaje.

### **3 STANJE V SLOVENIJI – STANOVANJSKA ZAZIDAVA IN ZAKONODAJA S PODROČJA OSONČENOSTI**

#### **3.1 Stanovanjska gradnja v Jugoslaviji**

Na območju Slovenije so se po 2. svetovni vojni prevladujoči trendi v zvezi z zasnovo in oblikovanjem stanovanjskih območij ter tipologijo objektov večkrat spremenili, saj so bili močno povezani s posameznimi razvojnimi fazami stanovanjske politike (Dimitrovska Andrews, 1998). Po 2. svetovni vojni je začela urbanizacija v Sloveniji skokovito naraščati zaradi industrializacije (Pirkovič-Kocbek, 1982). Stanovanjska gradnja je v tem času pomenila številčno najmočnejši delež v povojni rasti mest (Pirkovič-Kocbek, 1982). Kot navaja Dimitrovska Andrews (1998), so prva stanovanjska naselja tipizirane gradnje, večinoma stanovanjskih blokov, nastala v bližini industrijskih objektov. Na njihovo oblikovanje so vplivala načela funkcionalizma in predhodnega gibanja vrtnega mesta. Spremljale so jih značilnosti takratne gradnje: toga prostorska in oblikovalska zasnova, uniformiranost, pomanjkanje materialov in sanitarne opreme, slaba kvaliteta gradbeno-obrtniških del, pomanjkanje komunalnih naprav in oddaljenost novih naselij od preskrbovalnih centrov (Koselj, 1995). Večina stanovanjskega fonda, zgrajenega v tem času, so bili preprosti 2- ali 3-nadstropni bloki, postavljeni v odprte pravilne kompozicije (Dimitrovska Andrews, 1998).

Leta 1956 so bili ustanovljeni občinski skladi za stanovanjsko gradnjo, ki so bili financirani iz obveznih prispevkov od dohodkov zaposlenih in so predstavljali osnovo za množično stanovanjsko gradnjo. Splošni zakon o stanovanjski skupnosti (1959) je predstavljal podlago za ustanavljanje stanovanjskih skupnosti, ki pomenijo zaključeno urbanistično celoto. Stanovanjske soseske so se začele razvijati kot reakcija na obstoječo gradnjo tipiziranih stanovanjskih blokov in kot posledica reform na področju gospodarstva ter stanovanjske politike. V slovenski prostor je ideja o stanovanjski soseski prišla iz severnoevropskih držav, predvsem iz Skandinavije; najprej se je pojavila v teoretičnih razmišljanjih in bila v dejansko prostorsko načrtovanje vključena v začetku šestdesetih let dvajsetega stoletja (Malešič, 2015).

V tem času se je povečala vloga arhitektov pri snovanju stanovanjske zazidave. Razstava Stanovanje za naše razmere (Mihelič in Gaberščik, 1956) je prikazovala inovativne in racionalnejše rešitve tlorisne zasnove stanovanj. Pod vplivom skandinavskih zgledov je bilo razvitih veliko različnih tipov stanovanj in tipologij: stolpnica, linijski blok, vrstna hiša, dvojček (Dimitrovska Andrews, 1998). Pomemben mejnik pri stanovanjski gradnji je bila druga stanovanjska reforma iz leta 1965 (Skalicky Klemenčič in Čerpes, 2019).

Po Dimitrovski Andrews (1998) so ekonomske reforme med letoma 1965 in 1972 ter ukinitve občinskih skladov povzročili, da je izgradnja stanovanj postala tržno orientirana. Še vedno so se gradile tako stanovanjske soseske kot enostanovanjske hiše; spodbujalo se je samograditeljstvo enostanovanjskih

hiš. Z reformo stanovanjskega sektorja leta 1972 in z ustavno reformo, sprejeto leta 1974, se je uveljavila družbeno usmerjena gradnja stanovanjskih naselij.

Leta 1975 se je v družbenem sektorju zgradilo največ – 9750 stanovanj (Dimitrovska Andrews, 2006). Po tem letu se je število novozgrajenih stanovanj zmanjšalo, obseg stanovanjske gradnje pa je ostal visok vse do leta 1987 (Dimitrovska Andrews, 1998).

### **3.2 Stanovanjska gradnja po osamosvojitvi**

Čok (2014) navaja, da so v obdobju po letu 1991, ko je Slovenija postala samostojna država, razvojni trendi na področju gradnje, zaznamovani pretežno s spremenjenimi socialnimi oz. gospodarskimi razmerami, bistveno spremenili njena izhodišča, procese in cilje. Z legitimizacijo načel prostega trga sta se načrtovanje in gradnja objektov postopoma prilagodila novim pogojem ponudbe in povpraševanja. Plansko načrtovanje so nadomestili koncepti izbranih investicij, ob čemer so ustaljeno prakso socialne gradnje zamenjali posamični projekti gradnje za trg.

Stanovanjski zakon (1991) je omogočil privatizacijo in lastninjenje stanovanj. S tem je določil pravno podlago za ukinitvev družbene lastnine na stanovanjskem področju. Istega leta so bili ukinjeni vsi prispevki za stanovanjsko gradnjo. Ker se ob tem ni zagotovilo nadomestnih sistemskih virov za financiranje, se je obseg stanovanjske gradnje drastično zmanjšal (Zupančič, 2000). Ko je v zasebno last prešlo 90 % prej družbenega stanovanjskega fonda, je sledila rast cen nepremičnin (Planišček, 2010).

Stanovanjski zakon (1991) je omogočil tudi ustanovitev republiškega in občinskih stanovanjskih skladov, ki zgradijo le manjši delež stanovanj. Večji del stanovanjske gradnje po osamosvojitvi izvajajo zasebni investitorji (Planišček, 2010). Delovanje zasebnih investitorjev je zaradi tržne naravnosti ponekod že pustilo negativne posledice v prostoru, predvsem kot preseganje dovoljene višine in primerne gostote pozidave (Čelik, 2002). V času navidezne konjunktore po letu 2004 je prišlo do povečanega obsega gradnje novih večstanovanjskih zazidav in posamičnih večstanovanjskih stavb z visokimi faktorji izrabe zemljišč, omejenim dostopom do zelenih površin in javnih prostorov ter minimalnimi stanovanjskimi tlorisi (Čok, 2014). Mnoge lokacije zazidav na mestnih obrobjih so neustrezne, brez družbene infrastrukture in ustreznih povezav. Z nerazumno visoko gostoto pozidave zasebni investitorji ustvarjajo večji profit, javni pa želijo s stanovanji oskrbeti čim več ljudi (Planišček, 2010). Višje gostote novejših stanovanjskih zazidav v primerjavi s tistimi, zgrajenimi pred osamosvojitvijo Slovenije, je pokazala tudi raziskava Urbanističnega inštituta (Lestan et al., 2013), ki obenem v novejših zazidavah ugotavlja omejen program zunanjega prostora.

### **3.3 Zakonodaja in standardi s področja osončenosti stavb**

Poleg neželenih socioloških posledic pregosta zazidava pomeni prenizko osončenost objektov, kar ima negativen učinek tako na izkoriščanje energije kot na zdravje ljudi. Glede na dokazane prednosti dnevne svetlobe v stavbah so standardi in predpisi na tem področju ključnega pomena za določitev minimalnih

sprejemljivih pogojev. Kot v številnih drugih evropskih državah (Darula, Christoffersen in Malikova, 2015) je tudi v Sloveniji predpisana minimalna izpostavljenost soncu. Že leta 1988 so bila sprejeta Navodila o minimalnih pogojih za prostorsko načrtovanje, ki so spodbujala pravilo dobre prakse v obliki minimalnega potrebnega trajanja insolacije v bivalnih prostorih (Republiški zdravstveni inšpektorat, 1988; citirano po Košir et al., 2014). Po sedaj veljavni zakonodaji je minimalna izpostavljenost stavbnega ovoja soncu, izražena v urah, predpisana v tehnični smernici TSG-1-004: 2010 – Učinkovita raba energije (TSG-1-004: 2010). Smernica je podpora Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010), ki je nastal pod vplivom dokumentov Evropske unije, predvsem energijskega paketa o zmanjšanju rabe energije 20-20-20 % (EU, 2007) in Direktive 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta o energetske učinkovitosti stavb (2010). Tehnična smernica TSG-1-004: 2010 zahteva, da je ovoj stavbe 1 m nad tlemi, t. i. zbiralna površina, 21. decembra osončen vsaj 2 uri, ob ekvinokcijah 21. marca in 21. septembra vsaj 4 ure in ob poletnem solsticiju 21. junija vsaj 6 ur. V svojih zahtevah zajema tako podlago za pasivno solarno arhitekturo kot za sisteme fotovoltaike in solarno termične sisteme. Žal smernica navaja le pogoje za novogradnje s poudarkom na energijski učinkovitosti in nujnosti izpostavljenosti objekta sončnemu sevanju, medtem ko vidno ugodje ni omenjeno (Bizjak Železnik, 2015). Problematično je tudi, da izračun osončenosti kljub novemu predpisu ni postal del projektne dokumentacije za pridobitev gradbenega dovoljenja in tako odločitev o njegovem upoštevanju v glavnem ostaja v rokah odgovornega projektanta arhitekture.

Druga veljavna zahteva po osvetljevanju stanovanjskih prostorov z dnevno svetlobo v Sloveniji izhaja iz Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). V njem je v 1. odstavku 14. člena ohlapno določeno, da morajo biti stanovanjski prostori naravno osvetljeni. V 7. členu sledi zapis, da naravna osvetljenost stanovanja z več kot štirimi ležišči ne sme biti zagotovljena izključno skozi odprtine, ki so orientirane v območju od severovzhodne do severozahodne smeri. V skladu z navedenim pravilnikom je neposredna osvetljenost dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtin, namenjenih osvetljevanju, dosega najmanj 20 % neto tlorisne površine teh delov stanovanja. Podani sta tudi omejitve globine in širine enostransko osvetljenih prostorov. Ob tem zahteve pravilnika ne upoštevajo dejanske količine dnevne svetlobe na ovoju stavbe, torej zanemarjajo vpliv senčenja, ki ga povzročijo sosednje stavbe in rastje ali s členjenostjo stavba sama. Tako zahteve TSG-1-004: 2010 kot Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj je zelo težko upoštevati v začetnih – prostorskih in urbanističnih – fazah načrtovanja večstanovanjske zazidave, ko se določajo stopnja izkoriščenosti zemljišča, tipologija, višinski gabariti, oblikovanje in lega stavb, ki vplivajo na osončenost stavb.

Leta 2019 je novi evropski standard o osvetljenosti stavb postal slovenski nacionalni standard, SIST EN 17037: Dnevna svetloba v stavbah (2019). Namenjen je namenjen kot spodbuda projektantom k zagotavljanju, oblikovanju in ocenjevanju naravne osvetljenosti prostorov. To je doslej najizčrpnější veljavni dokument o naravni osvetljenosti bivalnih prostorov pri nas, saj predpisuje zagotavljanje

minimalne dnevne osvetljenosti, kakovost pogleda zunanjega okolja, izpostavljenost bivalnih prostorov neposredni osončenosti in zaščito pred bleščanjem. Uporaba navedenega standarda pri načrtovanju stavb še ni predpisana z zakonodajo, in tudi če bi bila, bi priporočila v začetnih fazah načrtovanja stavb zelo težko upoštevali; enako kot priporočila Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011) ter TSG-1-004: 2010 (2010).

V Sloveniji hierarhijo prostorskih aktov določa Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2, 2017). Državni prostorski red (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004) določa temeljna pravila urejanja prostora, splošne smernice in priporočila za prostorsko načrtovanje, pripravo in izvajanje ukrepov zemljiške politike ter izvajanje drugih nalog urejanja prostora. Prostorski strateški akti so Strategija prostorskega razvoja Slovenije (OdSPRS, 2004), regionalni prostorski plan in občinski prostorski načrt. Prostorski izvedbeni akti so državni prostorski načrt, uredba o najustreznejši varianti, uredba o varovanem območju prostorske ureditve državnega pomena, občinski prostorski načrt (OPN), občinski podrobni prostorski načrt (OPPN) in odlok o urejanju podobe naselij in krajine.

Enotna oblikovna in funkcionalna merila ter pogoje za urejanje prostora znotraj posamezne prostorske enote, ki vplivajo na osončenost stavb, se za območja stanovanj običajno določijo v občinskem prostorskem načrtu, enako kot velja za druge rabe (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004). Mednje sodijo tudi: tipologija zazidave, regulacijske črte, višine objektov – višinski gabariti in stopnja izkoriščenosti zemljišč za gradnjo (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004). Poleg tega se lahko določijo tudi velikost in oblikovanje objektov, velikost in oblika gradbenih parcel ter njihov namen, funkcionalna zasnova, zmožljivost, lega objektov in orientacija fasad (Uredba o prostorskem redu Slovenije, 2004). Nekateri OPN-ji imajo posebne zahteve glede osončenosti, kot na primer izvedbeni del Odloka o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana (2010), ki določa minimalno število ur naravne osončenosti bivalnih prostorov v stanovanjskih stavbah ob zimskem solsticiju in ekvinokcijah. Še vedno pa nimamo predpisov o osončenosti, ki bi na urbanističnem nivoju veljali za vso Slovenijo. V času med 2. svetovno vojno in osamosvojitvijo Slovenije je bilo drugače.

Kot piše Pogačnik (1999), so v letih obnove po 2. svetovni vojni politični sistem, industrializacija in reševanje stanovanjskega primanjkljaja narekovali centralizirano urejanje prostora. Urbanistična politika je bila v pristojnosti zveznih republik takratne Jugoslavije, zato si jo je Slovenija v povojnem obdobju lahko krojila sama. Načrti za delavska blokovska naselja v velikih industrijskih središčih so nastala v okviru slovenskega ministrstva za gradnjo. Kot v drugih socialističnih državah so bili izdelava načrtov, odločanje, financiranje in izvajanje centralizirani. V šestdesetih letih je v skladu s političnimi težnjami po decentralizaciji oblasti glavno pristojnost za urejanje prostora dobila občina, medtem ko je republika odločala le o objektih in infrastrukturi državnega pomena. Med drugim sta bila sprejeta Zakon o urbanističnem planiranju (1967) in Zakon o regionalnem prostorskem planiranju (1967). Za mesta so pričeli izdelovati urbanistične načrte. Za gradnjo velikih stanovanjskih sosesk so uporabljali zazidalne



načrte, ki so jih izdelovali urbanistični zavodi. Ti so bili ustanovljeni v večjih mestih in so regionalno pokrivali slovenski prostor.

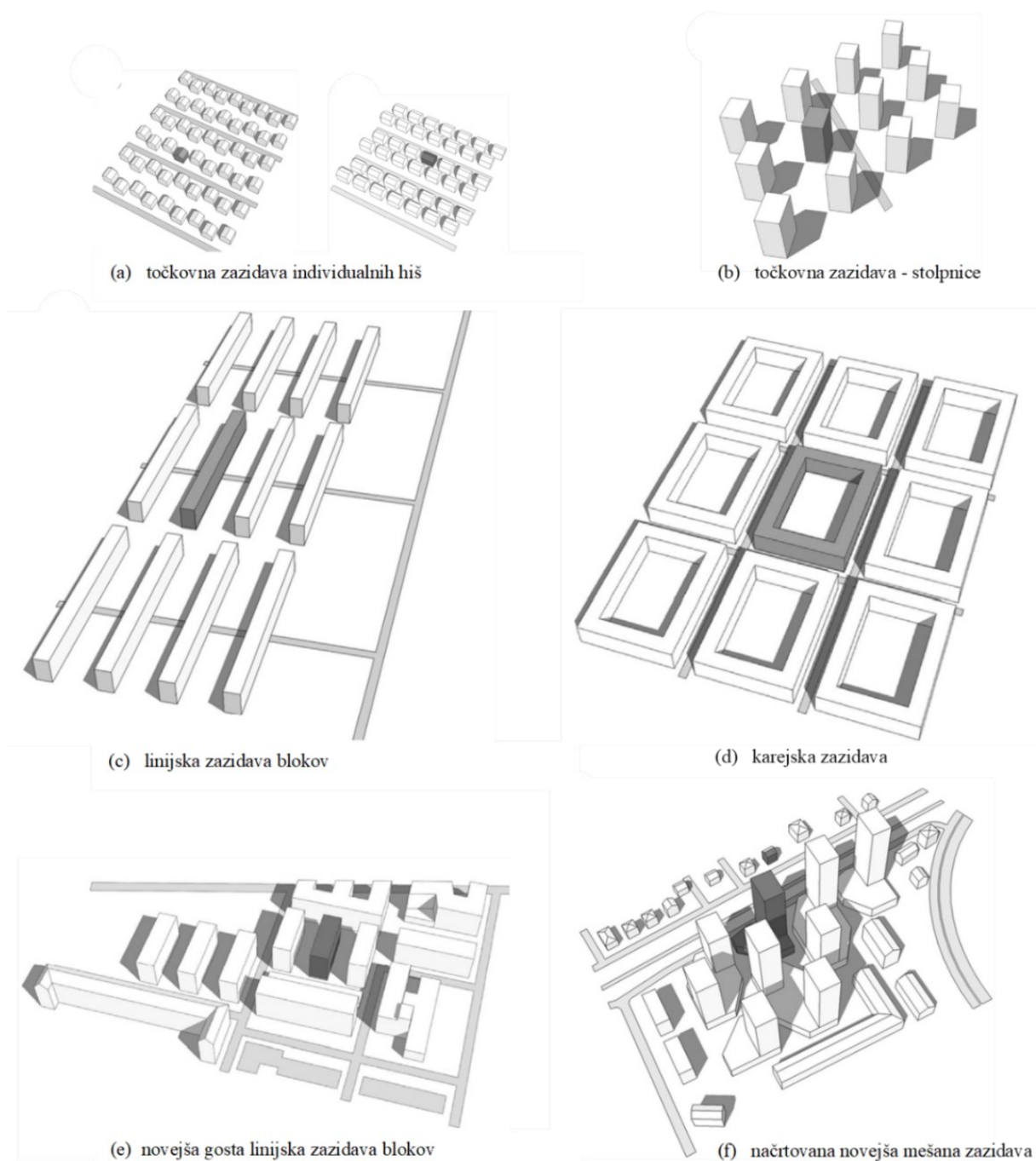
Bizjak Železnik (2015) navaja, da je bila osončenost stavb v povojni Jugoslaviji pomemben del urbanističnega načrtovanja. Zahteva po direktni osončenosti bivalnih prostorov je izhajala iz sanitarnih razlogov ter potrebe po svetlobi in toploti. Vpliv modernističnih načel urbanističnega planiranja je močno viden pri zasnovi stanovanjskih kompleksov vse do osemdesetih let dvajsetega stoletja. V preteklosti je pri nas obstajalo več predpisov, ki so natančneje regulirali področje osončenosti. Leta 1962 je področje osvetljevanja dobro urejal jugoslovanski predpis JUS.U.C9.100, XI-1962, Dnevno i električno osvetljenje prostorija u zgradama, ki je podrobneje opredeljeval potrebo po kakovostnem naravnem osvetljevanju. Med drugim so v več členih navedene naslednje zahteve: »Za osvetlitev prostorov v stavbi z navpično postavljenimi svetlobnimi površinami, ki so obrnjene proti drugim objektom ali oviram, je zelo pomembna oddaljenost in barva teh nasproti stoječih stavb in ovir. Ta oddaljenost naj bo, če je le mogoče, najmanj dvakratna višina te stavbe ali ovire.«; »Površine nasproti stoječih objektov ali ovir morajo biti svetlih barv s čim višjim faktorjem odbojnosti, kjer za to obstaja potreba.« in »V polje vpadnega kota dnevne svetlobe se ne sme postavljati nikakršna prepreka (podaljšek plošče, nadstrešnica ipd.), ker se v tem primeru zmanjša efektivna višina odprtine svetlobne površine.«

### 3.4 Raziskave osončenosti stanovanjske zazidave v Sloveniji

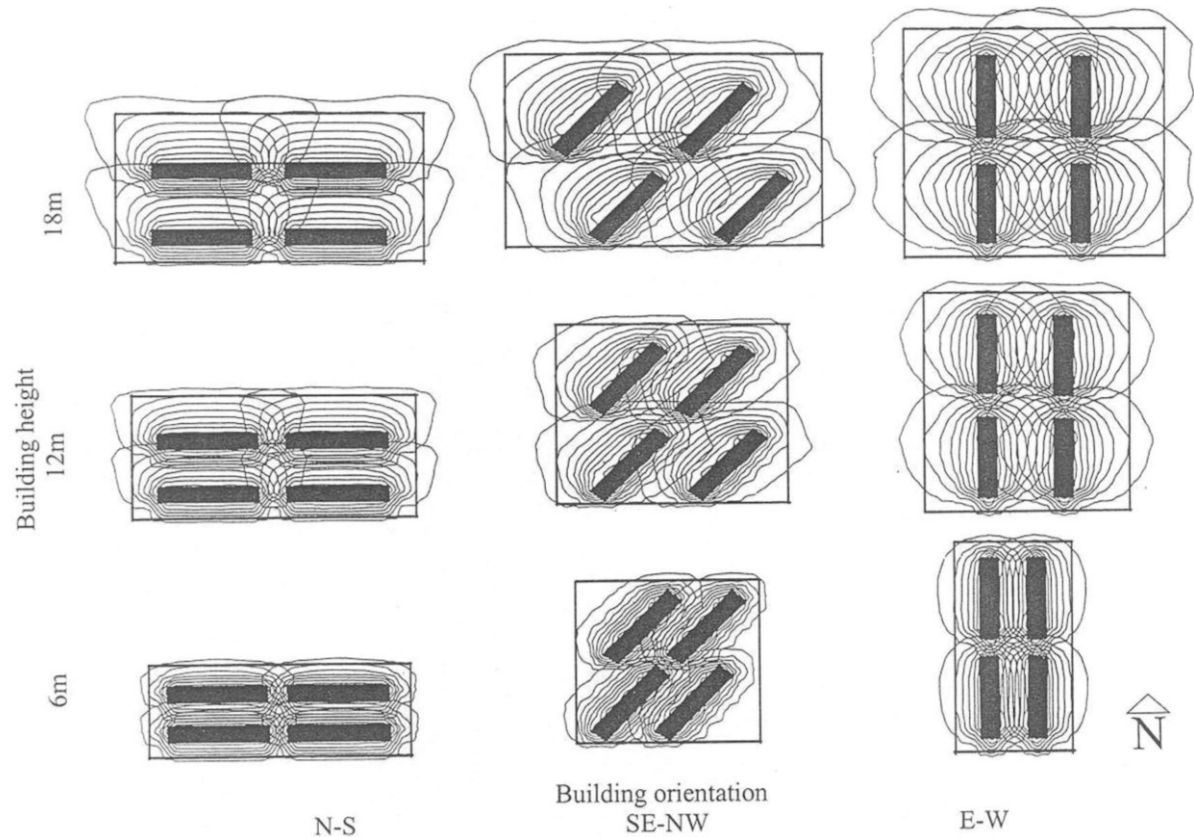
Raziskave so potrdile, da starejše – povojne – večstanovanjske zazidave z vidika osončenosti niso problematične, verjetno prav zaradi upoštevanja v prejšnjem poglavju naštetih predpisov. Študija skladnosti osončenosti sedmih različnih tipičnih slovenskih stanovanjskih zazidav – dveh različnih variacij lege individualne točkovne stanovanjske zazidave, linearnih stanovanjskih blokov, gosteje postavljenih novejših linearnih stanovanjskih blokov, naselja stanovanjskih stolpnic, karejske zazidave in načrtovane nove tipologije goste mešane zazidave stolpnic in srednje visokih stanovanjskih stavb – z zahtevami PURES in TSG-1-004: 2010 (Košir et al., 2014; Košir, Dovjak in Kristl, 2015) je pokazala, da so starejše zazidave v nasprotju z novejšimi in gostejšimi primerno osončene (slika 10). Ocenjeno je bilo, da bodo novejše gostejše zazidave, ki kažejo na infiltracijo globalne liberalne ekonomije, verjetno predstavljale izziv za prihodnost zaradi zmanjšanja sončnega potenciala, ki ga povzroča nelinearno povečanje medsebojnega senčenja zaradi sosednjih stavb. V splošnem je mogoče vsaj za predstavljene primere trditi, da imata največji vpliv na osončenost gostota zazidalnega vzorca in orientiranost zbiralnih površin stavbnega ovoja.

Za zdaj je prej opisana raziskava najboljše raziskava o vplivu urbanističnih kazalcev na osončenost stavbnega ovoja v Sloveniji. Pred spremembo EU predpisov in slovenske zakonodaje sta Kristl in Krainer že izvedla osnovne analize izpostavljenosti soncu na primerih generičnih oz. suburbanih zazidav (2001, 2006, 2007). Prva raziskava (Kristl in Krainer, 2001) je kot orodje uporabila program SENCE

(Kunič, 1990), razvit na FAGG UL, ki med drugim omogoča preveritev količine sončnega sevanja na stavbi in na zemljišču v njeni okolici. Opcija »izo-senc« v programu izračuna odstotek osončenosti na terenu tekom poljubno izbranega časovnega intervala v primerjavi z nezasenčeno površino (slika 11). Z njim je bila izvedena ocena osončenosti različnih vrst stavb. Ugotovljeno je bilo, da širina in višina stavbe bistveno vplivata na zahtevano velikost lokacije, lego stavb in gostoto zazidave.



**Slika 10:** Značilne stanovanjske zazidave v Sloveniji. Vir: Košir et al., 2014.  
**Figure 10:** Characteristic housing typologies in Slovenia. Source: Košir et al., 2014.



**Slika 11:** Letne izo-sence za 12 m široke stavbe z različno višino in orientacijo. Vir: Kristl in Krainer, 2001.  
**Figure 11:** Yearly iso-shadows for 12-metre-wide buildings with varied height and orientation. Source: Kristl and Krainer, 2001.

Druga raziskava (Kristl in Krainer, 2006; Kristl in Krainer, 2007) je preverjala vpliv novonačrtovanih predmestnih stanovanjskih stavb na osenčenje okolice z metodo »sončne ovojnice«, ki omogoči, da se zemljišču določi maksimalen zazidljiv volumen, ne da bi pri tem senca objekta (ki je znotraj volumna) padla izven meja parcele. Za risanje sončnih ovojnic je bilo uporabljeno računalniško orodje PIRAMIDA (Krainer, Kristl in Zabret, 2005). Ugotovljeno je bilo, da imata največji vpliv na obliko ovojnice izbran časovni interval osonečnosti in orientacija.

### 3.5 Možnost oblikovanja priporočil o osonečnosti večstanovanjske zazidave v fazi urbanističnega načrtovanja

Pregled značilnosti razvoja večstanovanjske gradnje in stanovanjskih politik na slovenskem ozemlju pokaže velik razkorak med časom pred in po osamosvojitvi Slovenije. Kot dokazujejo raziskave (Košir et al, 2014), sta prehod v tržno gospodarstvo s povečanjem gostot zazidav in pomanjkanjem predpisov oz. standardov v zvezi z urbanističnim načrtovanjem in osonečnostjo, kot je bil JUS.U.C9.100, XI-1962, Dnevno i električno osvetljenje prostorija u zgradama (Bizjak Železnik, 2015), povzročila gradnjo večstanovanjskih zazidav, problematičnih s stališča osonečnosti. Obstoječa predpisa, ki se neposredno nanašata na osonečnost stavb, nista dovolj za zagotavljanje primerne osonečnosti večstanovanjskih zazidav. Določitev ur osonečnosti stavbnega ovoja in velikosti odprtin za dnevno osvetljevanje

---

prostorov ne zagotavljata primerne osončenosti večstanovanjskih stavb. Sodobne raziskave, opisane v drugem poglavju, so predstavile metode natančnejšega določanja preverjanja energijske in svetlobne komponente osončenosti z opredelitvijo minimalnih količin prejetega sončnega sevanja na fasadi. Te je mogoče definirati z mejnimi oz. minimalnimi količinami prejetega sončnega sevanja, ki še dovoljujejo pozitivno energijsko bilanco zasteklitve zaradi solarnih dobitkov ali za implementacijo aktivnih sistemov izkoriščanja sončne energije z upoštevanjem specifičnih podnebnih razmer. Mejne količine osvetljenosti stavbnega ovoja je mogoče določiti tudi z njegovo povezavo z osvetljenostjo prostorov. Z izračuni osvetljenosti fasad je namreč mogoče predvideti stopnjo osvetljenosti notranjosti. Na podlagi povezave minimalnih vrednosti obeh komponent osončenosti na fasadi stavb z urbanističnimi kazalci bi bilo mogoče oblikovati konkretna priporočila glede maksimalnega faktorja izrabe in faktorja zazidanosti stanovanjske zazidave, ki še omogočata zadostno osončenost stavb upoštevaje tipologijo in lego stavb ter orientacijo fasad. Ta bi bila posebej pomembna za tipologije, ki omogočajo večje gostote, torej tipologije večstanovanjskih zazidav. Priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjske zazidave z namenom povečanja njene osončenosti, ki bi jih bilo mogoče uporabiti v zgodnjih fazah načrtovanja, bi pomenila pomemben korak k načrtovanju bolj trajnostnih večstanovanjskih zazidav, ki bi v največji možni meri zajemalo racionalno rabo zemljišč, rabo obnovljivih virov energije in izpolnjevanje osnovnih človekovih potreb.

## 4 METODOLOGIJA DELA IN PODATKI

### 4.1 Osnovna predstavitev metodološkega pristopa

Kot navedeno v uvodu, je cilj te disertacije raziskati povezavo med osončenostjo večstanovanjske zazidave in njeno gostoto, tipologijo, lego in orientacijo stavb ter na osnovi spoznanj oblikovati priporočila za urbanistično načrtovanje večstanovanjskih zazidav, ki temeljijo na osončenosti stavbnega ovoja. K raziskavi odnosa med osončenostjo stavbnega ovoja in različnimi urbanističnimi kazalci smo pristopili po korakih, prikazanih na sliki 12.

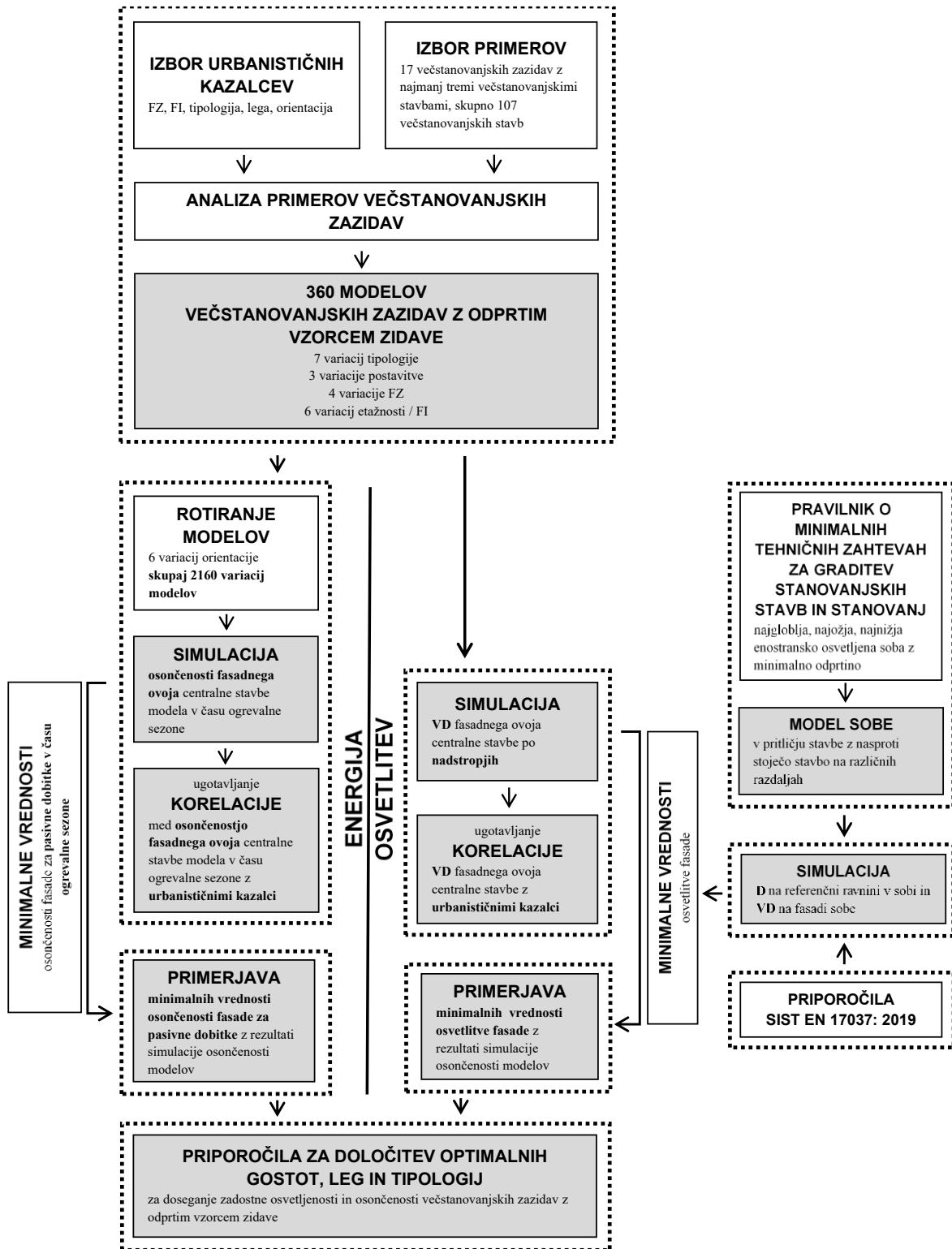
Urbanistične kazalce, katerih vpliv smo proučevali, smo določili na podlagi analize študij o osončenosti stavb iz poglavij 2.2 in 2.3 kot tiste, ki ob nespremenjenih drugih urbanističnih kazalcih vplivajo na osončenost stavbnega ovoja. Nato smo izbrali primere vseh večstanovanjskih zazidav s tremi ali več stavbami, ki so od osamosvojitve Slovenije do danes nastale pod okriljem dveh največjih stanovanjskih skladov v državi. Z analizo izbranih primerov večstanovanjskih zazidav smo opredelili njihove osnovne značilnosti: identificirali smo najpogosteje uporabljene tipologije, dimenzije in lege stavb, ki so služile kot osnova za izdelavo modelov večstanovanjskih zazidav. Z zgoščevanjem zazidave in spreminjanjem lege stavb smo ustvarili veliko število variacij modelov večstanovanjske zazidave z odprtim vzorcem zidave.<sup>3</sup> Z njihovo pomočjo smo v naslednjih korakih z računalniškimi simulacijami ločeno raziskali svetlobno in energijsko komponento osončenosti stavbnega ovoja v kontekstu okoliške zazidave.

Zaradi vpliva orientacije stranic stavb na direktno komponento osončenosti in s tem na količino na fasadi prejetega sončnega sevanja smo pri njeni preveritvi že ustvarjenim variacijam modelov različnih tipologij in leg stavb ter gostot zazidave dodali še variacije orientacije modelov večstanovanjskih zazidav glede na strani neba. Količino sončnega sevanja, prejetega na fasadah stavb, smo simulirali za čas ogrevalne sezone, ko lahko solarni dobitki zmanjšajo rabo energije za ogrevanje stavb. Da bi preverili vpliv izbranih urbanističnih kazalcev, smo analizirali osončenost osrednje, najbolj osenčene stavbe modelov. S primerjavo količine prejetega sončnega sevanja na fasadah osrednje stavbe vseh variacij modelov smo določili njeno korelacijo z gostoto, tipologijo in lego večstanovanjskih stavb. V naslednjem koraku smo primerjali simulirane vrednosti prejetega sončnega sevanja na fasadah z minimalnimi vrednostmi, ki še omogočajo pozitivno energijsko bilanco zasteklitve, oz. da so prejeti pasivni solarni dobitki večji ali enaki toplotnim izgubam skozi okno.

Pri simulaciji osvetljenosti fasade smo zaradi uporabe metrike faktorja dnevne svetlobe preverjali le difuzno komponento osončenosti, zato variacije različnih rotacij modelov glede na smer neba niso bile potrebne, saj količina prejetega difuznega sevanja ni odvisna od orientacije vertikalnih fasad stavbe.

---

<sup>3</sup> Razlogi za omejitve na odprte vzorce zidave so razloženi v poglavju 4.4.



**Slika 12:** Ilustracija glavnih korakov delovnega procesa. Vir: lasten.  
**Figure 12:** An illustration of the major steps of the workflow. Source: author.

Tako kot pri simulaciji sončnega sevanja smo osvetljenost fasade preverili pri najbolj osenčeni, osrednji stavbi modelov. S primerjavo osvetljenosti fasad pritličja in prvega nadstropja pri vseh variacijah modelov smo podobno kot pri preveritvi energijske komponente osončenosti določili korelacijo osvetljenosti fasad z gostoto, tipologijo in lego večstanovanjskih stavb. Simulirane vrednosti smo

primerjali z minimalnimi vrednostmi osvetljenosti fasade, ki še omogočajo zadostno osvetljenost najgloblje, najnižje, enostransko osvetljene sobe, dovoljene s slovenskim Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (2011).

Spoznanja, pridobljena s primerjavo simuliranih vrednosti prejetega sončnega sevanja in osvetljenosti z minimalnimi vrednostmi ter analizo vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na obe komponenti osončenosti, smo v naslednjem koraku strnili v priporočila za načrtovanje večstanovanjskih zazidav.

## 4.2 Izbor urbanističnih kazalcev

Na začetku raziskave smo opredelili, vpliv katerih urbanističnih kazalcev na osončenost stavbnega ovoja večstanovanjskih stavb bomo raziskali. Uredba o prostorskem redu Slovenije (2004) predpisuje dva načina določanja urbanističnih kazalcev: s številom stanovanj na hektar ter s faktorji in deleži, vezanimi na gradbeno parcelo, oziroma s kriteriji za izgrajenost zemljišč, ki so faktor izrabe gradbene parcele (FI), faktor zazidanosti gradbene parcele (FZ), faktor gradbene prostornine na gradbeno parcelo (FP) in delež odprtih bivalnih površin. Med urbanističnimi kazalci smo želeli izbrati tiste, ki ob nespremenjenih drugih kazalcih vplivajo na osončenost stavbnega ovoja.

Kazalca število stanovanj na hektar nismo uporabili, saj pri nespremenjenih FI, FZ, tipologiji in legi stavb nima vpliva na osončenost stavbnega ovoja. Prav tako nismo uporabili faktorja gradbene prostornine na gradbeno parcelo, ki bi bil zaradi uporabljene metode z oblikovanjem modelov zazidav, pri kateri smo vsem etažam stavb pripisali enako etažno višino 3 m, le trikratnik faktorja izrabe gradbene parcele. Delež odprtih bivalnih površin, ki so v Uredbi o prostorskem redu Slovenije (2004) definirane kot zelene površine in tlakovane površine, namenjene zunanjemu bivanju, nima neposrednega vpliva na osončenost stavbnega ovoja, saj je manj pomembno, ali so odprte površine med stavbami prometne, komunalne ali bivalne. Potencialnega vpliva senčenja dreves zaradi kompleksnosti nismo vključili. Pri simulacijah senčenja dreves je treba namreč poleg njihove natančne pozicije določiti tudi vrsto, velikost in delež listov na njih (Heisler, 1986; López-Ordóñez, Roset and Rojas-Cortorreal, 2017), kar so podatki, ki v zgodnjih fazah načrtovanja večstanovanjskih zazidav še niso znani.

Med naštetimi urbanističnimi kazalci smo kot tista, ki imata odločilen vpliv na osončenost stavbnega ovoja, izbrali FI in FZ. Njun vpliv na osončenost stavb je bil predhodno raziskan v številnih raziskavah (Gropius, 1965; Ratti, Raydan in Steemers, 2003; Cheng et al., 2006; Lobaccaro et al., 2017; Natanian in Auer, 2018).

Uredba o prostorskem redu Slovenije (2004) poleg urbanističnih kazalcev določa, da je treba pri načrtovanju grajene strukture na podlagi namenske rabe določiti oblikovna in funkcionalna merila ter pogoje za urejanje prostora znotraj posamične prostorske enote, med drugim tipologijo zazidave, lego stavb in orientacijo fasad. Ker je vpliv tipologije, lege in orientacije na osončenost stavb dokazalo več raziskav (Ratti, Raydan in Steemers, 2003; Cheng et al., 2006; Košir et al., 2014; Lobaccaro et al., 2017;

Natanian in Auer, 2018), smo se odločili, da jih vključimo v raziskavo. Zaradi boljše razumljivosti smo v disertaciji tipologijo zazidave, lego objektov in orientacijo fasad enako kot FI in FZ imenovali s skupnim terminom urbanistični kazalci.

### 4.3 Izbor in analiza primerov večstanovanjskih zazidav

Kot osnovo pri izdelavi modelov za presojo osončenosti stavbnega ovoja smo najprej proučili značilnosti stavb iz stanovanjskih zazidav, ki so nastale pod okriljem Stanovanjskega sklada Republike Slovenije (SSRS) in Javnega stanovanjskega sklada Mestne občine Ljubljana (JSS MOL) od začetka njunega obstoja do danes. Izbrana sklada sta izvajalca stanovanjske politike države in občine (ReNSP15–25, 2015), kar pomeni, da naj bi proučene stanovanjske zazidave predstavljale kvalitetna stanovanjska okolja in reprezentativne stanovanjske tipologije, nastale brez vmešavanja tržne ideologije. Poleg tega sta SSRS in JSS MOL kot javna sklada prosilcu zavezana posredovati informacije javnega značaja, kar pomeni, da je dostop do informacij o analiziranih stavbah bistveno olajšan.

Stanovanjski sklad RS je bil ustanovljen leta 1991 s Stanovanjskim zakonom (1991) za izvajanje nacionalnega stanovanjskega programa oz. spodbujanja stanovanjske gradnje, prenove in vzdrževanja stanovanj in stanovanjskih hiš. V letih svojega delovanja je postal nacionalno in mednarodno prepoznaven izvajalec stanovanjske politike države (SSRS, 2016). V skladu z usmeritvami Resolucije o nacionalnem stanovanjskem programu 2015–2025 (2015) med drugim investira v gradnjo stanovanj in stavbna zemljišča. Zgrajena stanovanja so namenjena tako prodaji kot neprofitnemu najemu.

Javni stanovanjski sklad MOL je naslednik Stanovanjskega sklada ljubljanskih občin, ki je bil ustanovljen leta 1992 (Odlok o ustanovitvi stanovanjskega sklada ljubljanskih občin, 1992). Njegova poglavitna naloga je reševanje stanovanjske stiske občanov, kar med drugim obsega gradnjo neprofitnih stanovanj. Mestna občina Ljubljana je s 5456 neprofitnimi stanovanji občina z največ neprofitnimi stanovanji v Sloveniji (Miklič, 2019), kar pomeni, da je JSS MOL eden glavnih deležnikov pri izgradnji neprofitnih stanovanj v državi.

Na SSRS in JSS MOL smo naslovili prošnjo, da nam posredujejo seznam vseh stanovanjskih zazidav, ki so bile zgrajene od začetka obstoja skladov do danes in vsebujejo najmanj tri večstanovanjske stavbe. Število tri je bilo kot najmanjše mogoče število stavb izbrano zaradi možnosti proučevanja urbanističnih značilnosti znotraj zazidave, kot je na primer razdalja med posameznimi stavbami. Analiza značilnosti prejetih primerov stanovanjske zazidave je obsegala določitev tipa agregacije, tipologije posameznih stanovanjskih stavb, njihovih dimenzij, števila etaž, medsebojnih odmikov ter faktorjev zazidave in izrabe zemljišča kot meril za gostoto pozidave. Kot osnovo za določanje tipologij večstanovanjskih stavb smo uporabili priročnik Tipologija stavb (Čerpes et al., 2019) in monografijo Urbanistično načrtovanje: raba prostora, tipologija stanovanjske gradnje, promet, parcelacija (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008).



Seznamna zazidav (Gašperšič, 2019; Štritof-Brus, 2019), ki sta ju posredovala SSRS in JSS MOL obsegata skupno 104 stavbe v 18 stanovanjskih zazidavah (preglednica 1). Stanovanjske zazidave so bile zgrajene v letih od 2001 do 2017 in se nahajajo v sedmih občinah: enajst zazidav v Mestni občini Ljubljana in po ena v občinah Ajdovščina, Borovnica, Domžale, Jesenice, v Mestni občini Koper in Mestni občini Kranj. Posamezne dele večjih stanovanjskih sosesk Zeleni gaj na Brdu in Polje, ki sta bili zgrajeni v več fazah, smo obravnavali posebej.

**Preglednica 1:** Obravnavani primeri večstanovanjskih zazidav, razvrščeni po letu izgradnje.  
*Table 1:* Examined residential developments listed according to the year of construction.

ime stanovanjske zazidave	lokacija/občina	investitor/ prodajalec	leto izgradnje	št. stavb
NOVE POLJANE	Ljubljana	JSS MOL	2001	10
ČRNUČE	Ljubljana	SSRS	2004	6
DRAGOMELJ	Domžale	SSRS	2004	5
MESARSKA	Ljubljana	SSRS	2004	4
TACENSKA	Ljubljana	SSRS	2004	11
POLJE I	Ljubljana	JSS MOL	2005	6
CESTA V GORICE	Ljubljana	JSS MOL	2007	4
KURILNIŠKA	Jesenice	SSRS	2007	3
SOTOČJE	Kranj	SSRS	2007	3
KRESNICE	Ajdovščina	SSRS	2008	4
OB BOROVIŠČICI	Borovnica	SSRS	2009	11
NAD DOLINSKO	Koper	SSRS/JSS MOK	2010	6
POLJE II	Ljubljana	JSS MOL	2011	6
ZELENI GAJ F5	Ljubljana	SSRS	2014	9
ZELENI GAJ F4	Ljubljana	SSRS	2014	5
POLJE III	Ljubljana	JSS MOL	2015	6
DOLGI MOST	Ljubljana	JSS MOL	2016	3
ZELENI GAJ F2	Ljubljana	SSRS	2017	4

Ob pregledu zbranih primerov večstanovanjskih zazidav smo ugotovili, da je najpogostejši linijski vzorec zidave, ki mu sledi točkovni vzorec zidave (preglednica 2). Značilnosti mrežnega vzorca zidave pogojno izkazuje le ena od sedemnajstih večstanovanjskih zazidav. To je večstanovanjska zazidava Cesta v Gorice, kjer so štirje pritlični in enonadstropni bloki z zunanjim hodnikom v obliki črke S organizirani okoli odprtih dvorišč. Kljub temu, da prostorska organiziranost gradbene parcele izkazuje značilnosti mrežnega vzorca zidave, stavbe ne predstavljajo nobenega od značilnih stavbnih tipov tega vzorca zidave. Zaradi podobnosti organizacije tlorisa in prereza stavb smo jih uvrstili k tipologiji bloka z zunanjim hodnikom (preglednica 7).

Med izbranimi stavbami je najpogostejša tipologija lamelnega bloka, v katero sodi 28 stavb. Za to tipologijo je značilno, da si dve do štiri stanovanja, ki ležijo eno ob drugem, delijo skupno vertikalno komunikacijo. V primerjavi z drugimi bloki je za to tipologijo značilno veliko število vertikalnih komunikacij, kar pomeni, da je – odvisno od značilnosti tlorisa – možna dvostranska orientacija stanovanj<sup>4</sup> (slika 13b). Sledi tipologija koridorskega bloka, značilnosti katere izkazuje dvajset izbranih stavb. Pri tipologiji koridorskega bloka so stanovanja nanizana ob notranjem hodniku ob obeh straneh, kar pomeni, da so razen končnih enostransko orientirana (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008; slika 13a). Sedem izbranih stavb izkazuje značilnosti stavbnega tipa koridorski blok z zunanjim stopniščem, kjer si praviloma dvostransko orientirana stanovanja delijo zunanji hodnik in vertikalno komunikacijo, ki je lahko zaprta ali odprta (slika 13c).<sup>5</sup> V tipologijo terasnega bloka je bilo uvrščenih šest stavb, ki so vse del večstanovanjske zazidave v Črnučah. Stavbe so umeščene na nagnjen teren in, kot je značilno za to tipologijo, je vsaj ena od glavnih fasad stavb izvedena terasno (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008).

V tipologijo stolpiča smo uvrstili 35 izbranih stavb. Tako tipologiji stolpiča kot vila bloka spadata v točkovni vzorec zidave. Stavbe obeh tipologij so prostostoječi bloki, največkrat kvadratnega tlorisa, osvetljene z vseh štirih strani. Razlikujejo se predvsem v tlorisni velikosti in višini. Dimenzije stranic vila bloka naj bile od 14 do 15 m, z višino treh ali štirih etaž, medtem ko je stolpič tlorisno nekoliko večji in predvsem višji, saj sega do višine osmih etaž (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008). Vila blok ima praviloma dve do tri stanovanja na etažo, medtem ko so v stolpiču združena tri, pogosteje štiri stanovanja na etažo (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008). Kljub temu, da bi lahko zaradi etažnosti devet izbranih stavb uvrstili v tipologijo vila bloka, smo jih zaradi tlorisnih značilnosti in gabaritov ter načina izdelave modelov v naslednjem koraku uvrstili med stolpiče.<sup>6</sup> Zadnje izmed tipologij stavb, v katero se uvršča deset izbranih stavb, smo opisali s skovanko »globoki stolpič«. Termin predstavlja tipologijo točkovnega vzorca zidave večstanovanjskih stavb s štirimi etažami in do osmimi stanovanji na etažo ter globino stavbe nad 26 m, ki ne ustreza nobeni od tipologij v uporabljenih virih.<sup>7</sup>

<sup>4</sup> Orientacija stanovanj (angl. *apartment facing direction*) pomeni smer neba, proti kateri so obrnjene odprtine bivalnih prostorov stanovanja, skozi katere je zagotovljena naravna osvetlitev. Enostranska orientacija pomeni, da so vse odprtine bivalnih prostorov stanovanja, skozi katere je zagotovljena naravna osvetlitev, orientirane enako, torej v isti smeri neba. Dvostranska orientacija pomeni, da so odprtine, ki zagotavljajo naravno osvetlitev bivalnih prostorov stanovanja, orientirane v dveh različnih smereh neba.

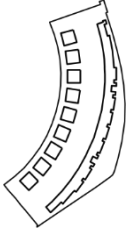
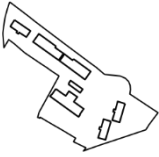
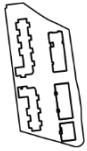

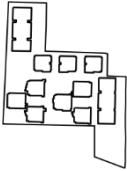


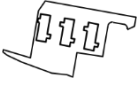
<sup>5</sup> Bloki stanovanjskih zazidav Cesta v Gorice in Dolgi most so bili kljub prenizki višini (2 stanovanjski etaži) uvrščeni med koridorske bloke z zunanjim hodnikom zaradi za to tipologijo značilne tlorisne zasnove.

<sup>6</sup> Kljub temu, da je v priročniku Tipologija stavb (Čerpes et al., 2019) višina stolpiča pri definiciji tipologij omejena na minimalno pet etaž, ima v priročniku predstavljeni primer tipologije stolpiča štiri etaže. Proti diferenciaciji med vila blokom in stolpičem smo se med drugim odločili zaradi naslednjega koraka metode, ko smo vsem tipologijam pripisali višine med tremi in osmimi etažami.

<sup>7</sup> Dva izmed blokov v stanovanjski zazidavi Polje III bi zaradi atrija med komunikacijami lahko uvrstili v tipologijo bloka na dvorišče. Med točkovne večstanovanjske stavbe je bil za potrebe pričujoče raziskave razvrščen zaradi podobnosti tlorisa tistim iz zazidave Polje II (slika 13), kjer so na sredino tlorisa namesto atrija umeščene shrambe, in majhnosti atrija, na katerega ni orientiranih zastekljenih površin, ki bi omogočale naravno osvetljevanje prostorov in pasivne solarne dobitke.



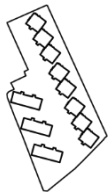

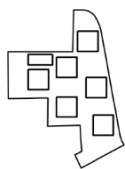
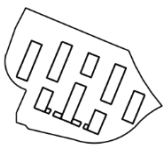
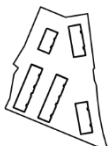



**Preglednica 2:** Grafični pregled obravnavanih stanovanjskih zazidav s podatki o gostoti in tipologiji zazidave ter številu stanovanjskih stavb, ki pripadajo posamični tipologiji.

**Table 2:** A graphic synopsis of residential developments with details about development density, building typology and the number of residential buildings by typology.

ime stanovanjske zazidave	situacija (M 1:10.000)	FZ	FI	vzorec zazidave	tipologija	št. stavb
NOVE POLJANE		25 %	1,26	linearni	lamelni blok	1
				točkovni	stolpič	9
ČRNUČE		31 %	1,05	linearni	terasni blok	6
DRAGOMELJ		17 %	0,59	linearni	lamelni blok	2
				točkovni	stolpič	1
				linearni	lamelni blok	2
MESARSKA		50 %	2,82	linearni	koridorski blok	4
TACENSKA		35 %	1,68	linearni	koridorski blok	2
				točkovni	stolpič	9
POLJE I		20 %	0,75	točkovni	stolpič	6
CESTA V GORICE		21 %	0,38	mrežni	koridorski blok z zun. hodnikom	4
KURILNIŠKA		19 %	0,72	linearni	lamelni blok	3

Preglednica se nadaljuje na strani 28.

Nadaljevanje Preglednice 2 s strani 27:

ime stanovanjske zgradave	situacija (M 1:10.000)	FZ	FI	vzorec zidave	tipologija	št. stavb
SOTOČJE		24 %	0,96	linearni	koridorski blok	3
KRESNICE		20 %	0,87	linearni, gručasto agregiranje	lamelni blok	4
OB BOROVNIŠČICI		26 %	1,21	linearni	lamelni blok	3
				točkovni	stolpič	8
NAD DOLINSKO		27 %	0,99	linearni	lamelni blok	4
					koridorski blok	2
POLJE II		30 %	1,13	točkovni	globoki stolpič	6
ZELENI GAJ F5		23 %	1,14	linearni	lamelni blok	9
ZELENI GAJ F4		25 %	1,32	linearni	koridorski blok	5
POLJE III		28 %	1,13	točkovni	stolpič	2
					globoki stolpič	4
DOLGI MOST		53 %	1,09	linearni	koridorski blok z zun. hodnikom	3
ZELENI GAJ F2		28 %	1,12	linearni	koridorski blok	4

Pri izračunu FZ in FI smo upoštevali zunanje meje gradbenih parcel večstanovanjskih zazidav, znotraj katerih se nahajajo stavbe, odprte bivalne površine, prometne površine in komunalne funkcionalne površine, kot so dostopi, dovozi, parkirna mesta in prostori za ekološke otoke. FZ posamičnih večstanovanjskih zazidav se giblje med 17 % in 53 %. Nanj močno vpliva umestitev parkirnih površin. Zazidave z bolj pozidanim parterjem imajo parkirne površine praviloma zagotovljene v garažah. V primeru zazidave Dolgi most, z najvišjim FZ, je garaža na nivoju pritličja. Podzemne garaže imajo tudi večstanovanjske zazidave z najvišjimi FZ, kot sta na primer Mesarska s FI = 2,82 in Tacenska s FI = 1,68. Brez garaž so praviloma samo stanovanjske zazidave s FI nižjim od 1. FI je najnižji pri zazidavi Cesta v Gorice, kjer so parkirnišča umeščena med pritlične in enonadstropne stanovanjske stavbe.

Relativno uniformnost stavb znotraj stanovanjskih zazidav kažejo tudi višinski gabariti, saj etažnost stavb, ki drugače sega od dveh do šestih etaž, znotraj posamične zazidave variira za največ eno etažo (preglednice 3–7).

**Preglednica 3:** Značilnosti obravnavanih lamelnih blokov: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.<sup>8</sup>

**Table 3:** *The characteristics of the investigated linear buildings with shared vertical access: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.*

ime stanovanjske zazidave	število stavb	število etaž	dolžina (m)	širina (m)	minimalni odmik (m)	maksimalni odmik (m)	lega
<b>NOVE POLJANE</b>	1	6	275,00	12,00	31,80	31,80	–
<b>DRAGOMELJ</b>	1	4	51,96	17,78	5,46	22,79	vzporedna
	1	4	46,54	17,78			
	1	3	73,76	14,48			
<b>KURILNIŠKA</b>	1	3	56,76	14,48	18,94	19,00	vzporedna
	3	4	34,9	15,6			
	1	4	24,36	12,46			
<b>KRESNICE</b>	2	4	30,36	12,46	5,60	23,54	odprti kare
	1	5	48,36	12,46			
<b>OB BOROVNIŠČICI</b>	3	5	38,24	14,34	15,56	15,56	z zamikom
<b>NAD DOLINSKO</b>	2	4	35,95	15,04	10,05	26,92	vzporedna
	2	4	34,10	14,4			
<b>ZELENI GAJ F5</b>	2	5	28,70	15,20	21,73	22,90	z zamikom
	1	5	40,60	15,20			
	2	5	51,70	15,20			
	1	6	28,70	15,20			
	2	6	51,70	15,20			

<sup>8</sup> Upoštevana globina in širina stavbe je globina (širina) stavbe z balkoni oz. ložami v primerih, ko ti zasedajo več kot polovico površine fasade; v nasprotnem primeru smo upoštevali globino stavbe brez balkonov oz. lož.

**Preglednica 4:** Značilnosti obravnavanih koridorskih blokov: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.

**Table 4:** *The characteristics of the investigated linear buildings with shared interior horizontal access: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.*

ime stanovanjske zazidave	število stavb	število etaž	dolžina (m)	širina (m)	minimalni odmik (m)	maksimalni odmik (m)	lega
MESARSKA	1	6	141,70	20,36	16,50	24,30	vzporedna; prilagojena parceli
	1	6	136,59	20,36			
	1	6	128,18	20,36			
	1	6	120,50	20,36			
TACENSKA	1	6	56,70	24,20	9,33	9,33	vzporedna
	1	5	60,40	21,90			
SOTOČJE	1	4	69,16	17,16	13,46	39,02	vzporedna; prilagojena parceli
	2	4	45,76	17,16			
NAD DOLINSKO	2	3	31,65	17,46	10,05	26,92	vzporedna
ZELENI GAJ F4	2	5	40,90	15,70	15,02	44,00	vzporedna; prilagojena parceli
	1	5	61,80	15,70			
	1	6	30,10	15,70			
	1	6	61,80	15,70			
ZELENI GAJ F2	1	3	42,00	18,70	16,95	26,90	vzporedna; prilagojena parceli
	1	3	52,40	18,70			
	2	4	31,50	18,70			

**Preglednica 5:** Značilnosti obravnavanih koridorskih blokov z zunanjim hodnikom: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.

**Table 5:** *The characteristics of the investigated linear buildings with shared exterior horizontal access: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.*

ime stanovanjske zazidave	število stavb	število etaž	dolžina (m)	širina (m)	minimalni odmik (m)	maksimalni odmik (m)	lega
CESTA V GORICE	4	2	41,25	9,21	4,46	29,52	odprti kare
DOLGI MOST	3	3 (2 stan.)	39,00	12,32	12,12	12,12	vzporedna

**Preglednica 6:** Značilnosti obravnavanih vila blokov in stolpičev: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.

**Table 6:** *The characteristics of the investigated villa-blocks and towers: floor plan dimensions, no. of floors, distance and placement.*

ime stanovanjske zazidave	število stavb	število etaž	dolžina (m)	širina (m)	minimalni odmik (m)	maksimalni odmik (m)	lega
NOVE POLJANE	9	5	17,00	17,00	7,50	31,80	linijska/v loku
DRAGOMELJ	1	4	23,54	17,78	5,46	22,79	vzporedna
	2	5	21,40	19,70			
TACENSKA	1	6	23,80	19,70	1,65	13,92	z zamikom
	3	6	21,40	19,70			
	3	6	22,10	20,20			
POLJE I	6	4	21,00	14,70	14,20	21,17	vzporedna
OB BOROVNIŠČICI	8	5	19,64	17,54	0,00	4,30	z zamikom
POLJE III	2	4	18,76	11,48	10,80	19,64	z zamikom

**Preglednica 7:** Značilnosti obravnavanih globokih stolpičev: tlorisni gabariti, etažnost, odmiki in lega.

**Table 7:** *The characteristics of the investigated wide towers: floor plan dimensions, no. of floors, distances and placement.*

ime stanovanjske zazidave	število stavb	število etaž	dolžina (m)	širina (m)	minimalni odmik (m)	maksimalni odmik (m)	lega
POLJE II	6	4	26,60	26,60	7,90	34,48	z zamikom
POLJE III	2	4	28,50	22,90	10,80	19,64	z zamikom
	2	4	21,02	18,76	10,80	19,64	z zamikom

Najnižji so koridorski bloki z zunanjim hodnikom v zazidavah Cesta v Gorice in Dolgi most z dvema stanovanjskima etažama. Najvišje so stavbe v zazidavah z najvišjimi FI: koridorski bloki v zazidavi Mesarska, koridorski bloki in stolpiči na Tacenski, lamelni blok v zazidavi Nove Poljane in nekateri koridorski in lamelni bloki zazidav Zeleni gaj F4 in F5.

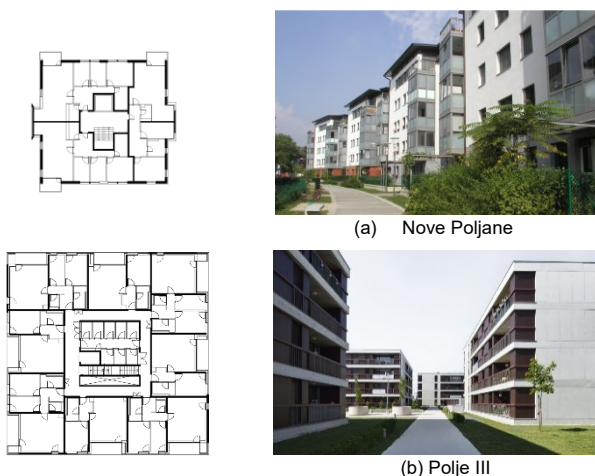
Stavbe so v vseh proučenih zazidavah razporejene relativno enakomerno, s podobnimi odmiki, kar za stanovalce pomeni primerljive bivalne pogoje. Razporeditev se prilagaja nepravilni obliki zemljišč z rotacijami in zamiki stavb. Pri nekaterih točkovnih zazidavah, kot so na primer Tacenska ter Polje II in III, je v zamikih objektov mogoče prepoznati vzorec 'šahovnice', kjer se praznine in stavbe nizajo po diagonalni. Podobno, z manj značilnim vzorcem, so v stanovanjskih zazidavah Zeleni gaj F4 in F5 zamaknjeni lamelni in koridorski bloki.

Orientacija daljših stranic stavb glede na smer neba je zaradi direktne osončenosti stanovanj pomembnejša pri stavbah linijskega vzorca zazidave, saj je pri točkovnem vzorcu zazidave zaradi večjega števila stanovanj z vogalno lego pogostejša njihova dvostranska orientacija. Daljše stranice koridorskih blokov, za katere je zaradi večje globine značilna enostranska orientacija stanovanj (slika 13), so z izjemo stanovanjske zazidave Nad Dolinsko orientirane na vzhod in zahod z manjšimi odkloni. Lega lamelnih blokov, kjer je orientacija stanovanj praviloma dvostranska, je v analiziranih primerih stanovanjskih zazidav različna. V zazidavi Cesta v Gorice so daljše stranice koridorskih blokov z zunanjim hodnikom zaradi zalomljenega tlorisa orientirane na vse štiri strani neba, medtem ko so v zazidavi Dolgi most, kjer je orientacija stanovanj dvostranska, stanovanja osončena z vzhodne in zahodne strani. Bivalni prostori v terasnih blokih stanovanjske zazidave Črnuče so v glavnem obrnjeni na jugozahod in zahod. Stranice analiziranih stavb točkovnega vzorca pozidave so orientirane v smereh sever–jug in vzhod–zahod, z izjemo stanovanjske zazidave Nove Poljane, kjer so stolpiči postavljeni v loku, in zazidave Ob Borovniščici, kjer so stolpiči rotirani glede na os sever–jug za 45°. Zaradi majhnih tlorisnih gabaritov in posledične dvo- ali celo trostranske orientacije stanovanj v stolpičih (slika 14) je orientacija stanovanj glede na smer neba pri tej tipologiji načeloma manj problematična.



**Slika 13:** Primeri analiziranih (a) koridorskega, (b) lamelnega in (c) koridorskega bloka z zunanjim hodnikom. Tlorisi v merilu 1 : 1000 so povzeti po načrtih, prejetih od SSRS in JSS MOL. Viri fotografij: (a) Smolnicki, 2010; (b) Kambič, 2014; (c) Kambič, 2016.

**Figure 13:** Examples of the analyzed linear buildings with (a) shared vertical access; (b) shared internal horizontal access; (c) shared external horizontal access. Floor plans in scale 1:1000 drawn according to plans received by SSRS and JSS MOL. Photo sources: (a) Smolnicki, 2010; (b) Kambič, 2014; (c) Kambič, 2016.



**Slika 14:** Primera analiziranega (a) stolpiča in (b) globokega stolpiča. Tlorisa v merilu 1 : 1000 sta povzeta po načrtih, prejetih od JSS MOL.

Vir fotografij: (a) Bevk, 2015 in (b) Gašperšič, 2019.

**Figure 14:** Examples of the analyzed point buildings (a) tower and (b) wide tower. Floor plans in scale 1:1000 drawn according to plans received by SSRS and JSS MOL. Photo sources: (a) Bevk, 2015 and (b) Gašperšič, 2019.



#### 4.4 Vzpostavitev ustreznih modelov večstanovanjskih zazidav za simulacije

V naslednjem koraku smo oblikovali modele za simulacijo osončenosti stavb, ki predstavljajo poenostavljene zasnove večstanovanjskih zazidav. Vsak model je sestavljen iz devetih identičnih stavb z enakimi medsebojnimi odmiki, pri čemer je osrednja stavba testni objekt, na katerem preverjamo osončenost. Podoben pristop z nadaljevanjem matrice zazidave oz. umestitvijo testne stavbe med enake stavbe je bil uporabljen že v predhodnih raziskavah, ki se ukvarjajo s korelacijo osončenosti stavbnega ovoja in urbanističnimi kazalci (Ratti, Raydan in Steemers, 2003; Cheng et al., 2006; Kanters, Wall in Dubois, 2014; Lobaccaro et al., 2017). Na ta način je mogoče preveriti osončenost ovoja najbolj osenčene stavbe v kontekstu enake okoliške zazidave, ki jo predstavlja osem obodnih stavb.

Modeli predstavljajo najpogosteje zastopane stavbne tipologije v izgrajenih zazidavah, določene na podlagi analize, opisane v poglavju 4.3. To so: lamelni blok, koridorski blok, koridorski blok z zunanjim hodnikom, stolpič in globoki stolpič. Tipologije terasnega bloka, ki se pojavi v stanovanjski zazidavi Črnuče, pri izdelavi modela nismo uporabili, saj naklon terena pomeni novo spremenljivko, ki vpliva na osončenost ovoja, ki se je zaradi relativne redkosti nismo odločili raziskati, bi pa uporabljeno metodologijo brez težav uporabili tudi v tem primeru.

Med modele prav tako nismo vključili mrežnega vzorca zidave, ki se, vsaj v prostorski organiziranosti gradbene parcele, pojavi v stanovanjski zazidavi Cesta v Gorice, saj iz značilnosti navedene zazidave ni mogoče razbrati dovolj podatkov, ki bi omogočali zasnovo modelov. Drugi razlog za to, da modeli ne zajemajo tipologij mrežnega vzorca zidave, kot je npr. urbani kare, izhaja iz metode določitve mejnih vrednosti osvetljenosti. Tipologije mrežnega vzorca zidave so zaradi oblike stavb, ki povzročajo nasebno senčenje in odboje svetlobe od bočnih delov stavbe, pogosto predmet specifičnih raziskav osončenosti, (Sundborg et al., 2019; Kim, 2016). Zaradi načina povezave priporočil standarda SIST EN 17037 glede osvetljenosti v prostoru z osvetljenostjo fasade s pomočjo istočasne simulacije obeh vrednosti v situaciji uličnega kanjona, ki je opisana v poglavju 4.7.2, so tako pridobljene mejne vrednosti uporabne predvsem za fasade z nasproti stoječo vzporedno fasado (Strømman-Andersen in Sattrup, 2011). Faktorje dnevne svetlobe lahko namreč določimo kot vsoto treh komponent: komponente neba, ki predstavlja dnevno svetlobo, zagotovljeno neposredno z neba; zunanje odsevne komponente, ki nastane z odsevom komponente neba na zunanjih površinah; in notranje odsevne komponente, ki nastane z odsevom komponente neba na notranjih površinah prostora (Acosta et al., 2014). Faktor dnevne svetlobe v sobi obodne zazidave z oknom na dvorišče bi se ob enakem vertikalnem faktorju dnevne svetlobe na fasadi sobe razlikoval od faktorja dnevne svetlobe v sobi z oknom proti ulici oz. v sobi stavbe v vzorcu odprte zidave zaradi zunanje odsevne komponente. Pri podobni raziskavi za zaprte vzorce zidave bi bilo treba prilagoditi metodologijo na način, da se kot spremenljivka vpelje parameter tlorisnih dimenzij dvorišča. Dodatno pozornost bi bilo treba posvetiti tudi načinu posplošitve vpliva reflektivnosti fasadnega ovoja, ki bi imel pri vogalnih stanovanjih bistveno večji vpliv, kot ga ima v primeru urbanega kanjona. Iz

navedenega sledi, da bi morali za zaprte zazidave izvesti ločeno raziskavo, ki bi rezultirala v ločenih priporočilih, ta pa ne bi bila neposredno primerljiva s priporočili za odprte zidave.

Tlorisne dimenzije stavb v modelih so na meter natančno zaokrožene povprečne tlorisne mere analiziranih stavb posamezne tipologije (preglednice 3–7). Te so pri linijskem vzorcu zidave za lamelni blok  $15\text{ m} \times 49\text{ m}$ , za koridorski blok  $18\text{ m} \times 63\text{ m}$  in za koridorski blok z zunanjim hodnikom  $11\text{ m} \times 40\text{ m}$ . Pri modelih točkovnega vzorca zidave so tlorisne mere stolpičev  $17\text{ m} \times 20\text{ m}$  in globokih stolpičev  $24\text{ m} \times 20\text{ m}$ .

S spreminjanjem razdalje med stavbami smo vsem petim variacijam tipologije pripisali štiri različne FZ, tri različne možnosti lege, vzporedno in dve z različnimi zamiki, ter šest variacij etažnosti in posledično FI. Meje zemljišč modelov, ki smo jih upoštevali pri izračunu FZ in FI, potekajo ob obodu zunanjih stavb. Odmike med objekti smo prilagodili tako, da FZ ustreza 20 %, 30 %, 40 % in 50 %, ob čemer meja zemljišča povezuje oglišča zunanjih stavb. Modelom vsake od petih tipologij, kjer so stavbe postavljene vzporedno, smo dodali legi stavb z zamikom po krajši in po daljši stranici stavbe. Skupno smo ustvarili 60 različnih tlorisov modelov, ki smo jih zaradi lažje prepoznavnosti označili s kraticami, pri katerih prva črka označuje tipologijo (L – lamelni blok; K – koridorski blok;  $K_z$  – koridorski blok z zunanjim hodnikom; S – stolpič;  $S_g$  – globoki stolpič), številka označuje faktor zazidanosti (1 – 20 %; 2 – 30 %; 3 – 40 %; 4 – 50 %) in zadnja črka tip lege. Črka A pri tem označuje vzporedno lego stavb, B lego z zamikom ob daljši stranici in C lego z zamikom ob krajši stranici. Tako na primer kratica L1A označuje model lamelnih blokov s FZ = 20 % in vzporedno lego stavb (preglednica 8).

Vsakemu od 60 tlorisov modelov smo pripisali šest variacij etažnosti, od 3 do 8 etaž, ter posledično šest variacij faktorja izrabe, kar pomeni, da smo ustvarili 360 različnih modelov stanovanjskih zazidav. Kljub temu, da je višina osmih etaž pri nekaterih tipologijah previsoka,<sup>9</sup> smo zaradi medsebojne primerljivosti rezultatov vse modele višali enako. Drugi razlog za višinsko mejo osmih etaž je slovenska smernica za požarno varnost (TSG-1-001: 2019). Ta kot višinsko mejo za visoke stavbe določa 22 m višine poda zadnje etaže od terena, kar pomeni, da je tlorisna zasnova večstanovanjskih stavb do navedene višine lahko enaka in se spremeni, ko je ta višina presežena – poveča se število stopnišč ipd.

<sup>9</sup> Priročnik Tipologija stavb (Čerpes et al., 2019) za lamelni, koridorski in koridorski blok z zunanjim hodnikom dopušča tri do šest etaž, medtem ko monografija Urbanistično načrtovanje: raba prostora, tipologija stanovanjske gradnje, promet, parcelacija (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008) dopušča tri ali več etaž.

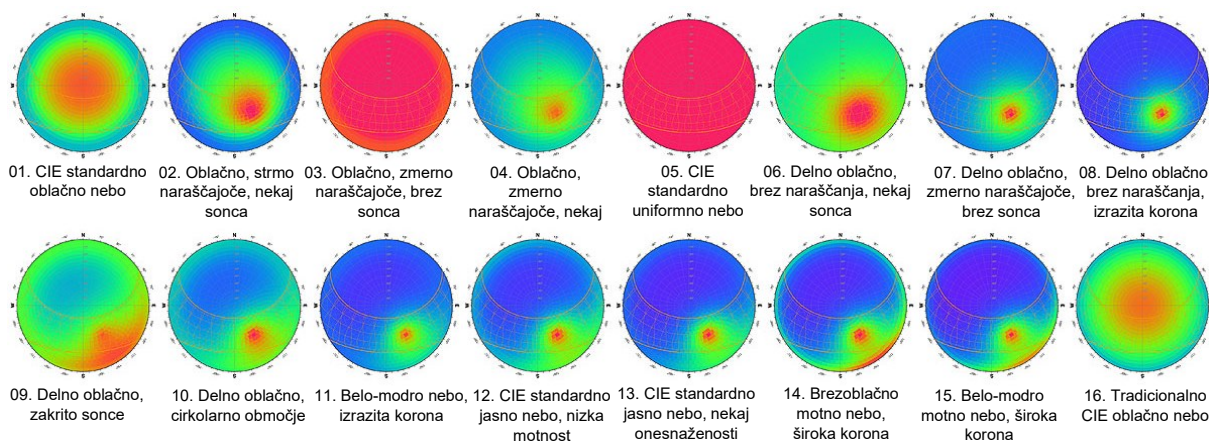
**Preglednica 8:** Variante tlorisov modelov stanovanjskih zazidav.  
**Table 8:** Residential development model layout variations.

	FZ 20 %			FZ 30 %			FZ 40 %			FZ 50 %		
	L1A	L1B	L1C	L2A	L2B	L2C	L3A	L3B	L3C	L4A	L4B	L4C
<b>lamelni blok</b> (15 m x 49 m)												
	K1A	K1B	K1C	K2A	K2B	K2C	K3A	K3B	K3C	K4A	K4B	K4C
<b>koridorski blok</b> (18 m x 63 m)												
	K <sub>z</sub> 1A	K <sub>z</sub> 1B	K <sub>z</sub> 1C	K <sub>z</sub> 2A	K <sub>z</sub> 2B	K <sub>z</sub> 2C	K <sub>z</sub> 3A	K <sub>z</sub> 3B	K <sub>z</sub> 3C	K <sub>z</sub> 4A	K <sub>z</sub> 4B	K <sub>z</sub> 4C
<b>koridorski blok z zunanjim hodnikom</b> (11 m x 40 m)												
	S1A	S1B	S1C	S2A	S2B	S2C	S3A	S3B	S3C	S4A	S4B	S4C
<b>stolpič</b> (17 m x 20 m)												
	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
<b>globoki stolpič</b> (24 m x 20 m)												

#### 4.5 Uporabljen računalski orodja

Tridimenzionalne modele večstanovanjskih zazidav smo ustvarili z združevanjem orodja za tridimenzionalno modeliranje Rhinoceros (McNeel Robert in Associates, 2017) z algoritemskim orodjem za modeliranje Grasshopper (Davidson, 2017), s katerima smo ustvarili in spreminjali geometrične lastnosti modelov. Izračun naravne osvetljenosti in sončnega potenciala smo izvedli s pomočjo vtičnika za Rhinoceros DIVA-for-Rhino (Solemnia LCC, 2019), ki je bil prvotno razvit na Podiplomski šoli za oblikovanje na Univerzi v Harvardu. Ta je namenjen izvedbi različnih ocen okoljske učinkovitosti stavb in urbanih območij ter med drugim omogoča modeliranje sončnega sevanja in naravne osvetljenosti v stavbah in njihovi okolici.

Simulacija VD in količine prejete sončne energije na ovoju stavb z DIVA-for-Rhino je osnovana na odprtokodnem programu Radiance (Ward Larson in Shakespeare, 1998), ki je bil validiran s številnimi raziskavami (Mrdaljevic, 1995; Reinhart in Herkel, 2000; Reinhart in Walkenhorst, 2001). V originalnem formatu ga je že leta 1985 razvil Greg Ward v Nacionalnem laboratoriju Lawrence Berkeley v Kaliforniji. Radiance je orodje za simulacijo svetlobe, ki omogoča izračune z metodo sledenja žarkom. Hkrati uporablja dve metodi sledenja žarkov: deterministično, ki sledi žarkom od proučevanega objekta do njihovega izvora, in stohastično, pri kateri žarki potekajo in se odbijajo v naključne smeri, kar omogoča izračun tako direktne kot difuzne komponente osončenosti. Program omogoča simulacijo s šestimi od šestnajstih vrst standardnih tipov neba, od močno oblačnega do jasnega, ki jih je definirala Mednarodna komisija za razsvetljavo (CIE, 2003; slika 15). Pri simulacijah svetlobe pod oblačnim nebom, ki smo jih uporabili za izračun D in VD, Radiance uporablja CIE tip neba 16.



**Slika 15:** 16 CIE standardnih tipov neba. Vir: Marsh, 2020.

**Figure 15:** 16 CIE standard sky types. Source: Marsh, 2020.

Pri izračunu prejete sončne energije vtičnik DIVA-for-Rhino iz podatkov podnebne datoteke (angl. *weather file*) za določeno lokacijo, pridobljeno s spletne strani EnergyPlus (EnergyPlus, 2019), ustvari razporeditev svetlosti neba glede na Perezov model neba (Perez, Seals in Michalsky, 1993) za vsako uro izbranega časovnega obdobja. V naslednjem koraku se iz urnih vrednosti sevanja ustvari model kumulativnega neba (Robinson in Stone, 2004), pod katerim se v zadnjem koraku procesa zažene simulacija osončenosti.

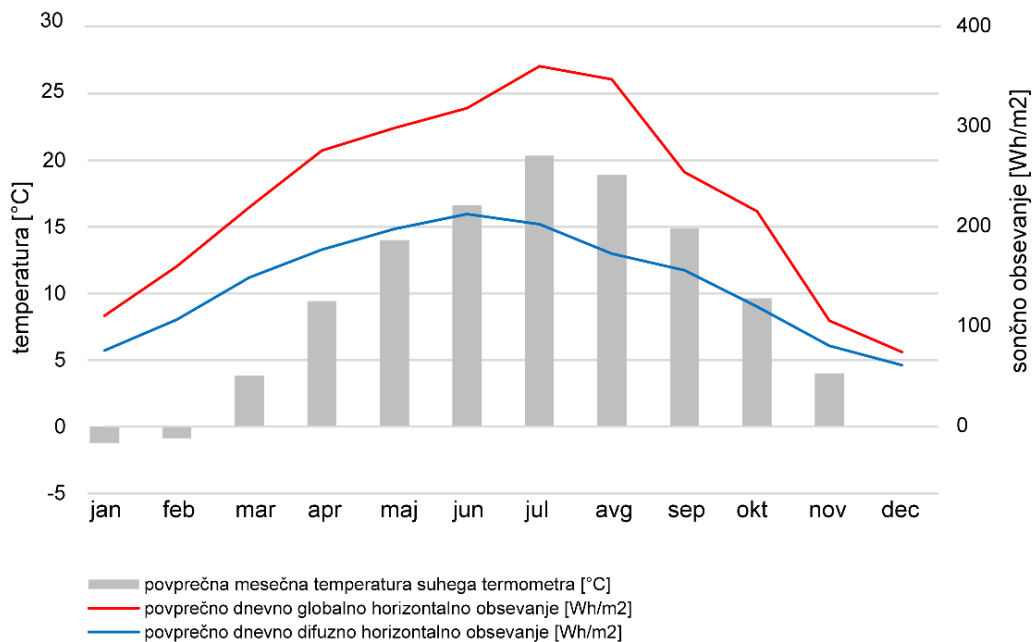
#### 4.6 Analiza prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe

Pri analizi energijske komponente osončenosti stavbnega ovoja smo se osredotočili na solarni potencial fasad, saj je solarni potencial ravnih streh v uniformno visoki zazidavi, ki jo predstavljajo naši modeli, enak ne glede na gostoto, tipologijo in lego zazidave. Zaradi redkosti uporabe fasadnih fotonapetostnih modulov in solarnih panelov smo se odločili preveriti količino na fasadi prejete sončne energije v času ogrevalne sezone, ko lahko pasivni solarni dobitki skozi zastekljene odprtine pomembno doprinesejo k prihranku energije pri ogrevanju stavb. Ogrevalna sezona se v Sloveniji začne, ko je zunanja temperatura

zraka ob 21. uri tri dni zaporedoma nižja ali enaka  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  in konča, ko je zunanja temperatura ob 21. uri v treh zaporednih dneh večja od  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Ovsenik-Jeglič, T. in Mekinda-Majaron, 2002). Trajanje obdobja ogrevalne sezone se razlikuje iz leta v leto in v Ljubljani traja okoli osem mesecev, zato smo izbrali obdobje med 15. septembrom in 15. majem.

#### 4.6.1 Analiza vpliva urbanističnih kazalcev na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe

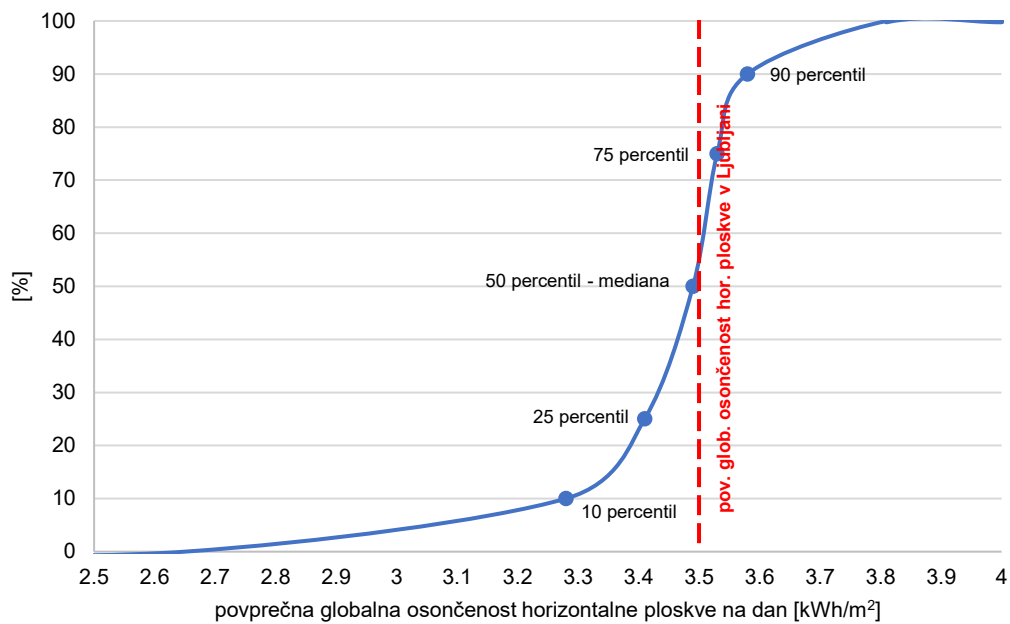
Z računalniškimi simulacijami, izvedenimi, kot je opisano v poglavju 4.6, smo pridobili količino sončnega sevanja, prejetega na fasadnem plašču najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov, opisanih v poglavju 4.4. Pri računalniških simulacijah je bila uporabljena podnebna datoteka za Ljubljano, pridobljena s spletne strani EnergyPlus 9 (slika 16).



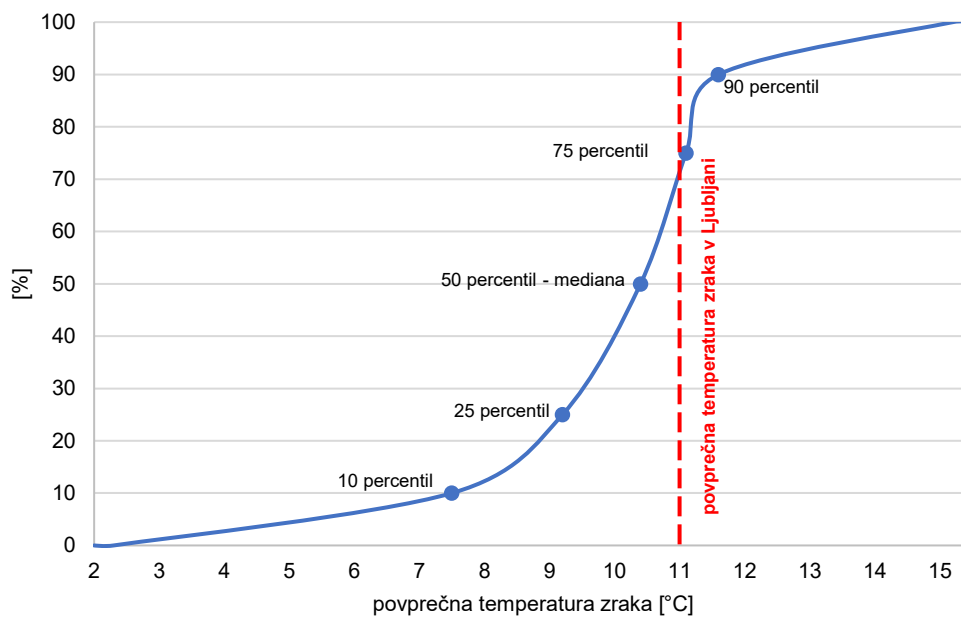
**Slika 16:** Mesečni podatki o povprečni temperaturi in količini sevanja na horizontalni površini, pridobljeni iz podnebne datoteke za Ljubljano (EnergyPlus, 2019). Vir: lasten.

**Figure 16:** Monthly data on the average temperature and global solar irradiation obtained from the climate file for Ljubljana (EnergyPlus, 2019). Source: author.

Uporabljeni podnebni podatki za Ljubljano primerno odražajo podnebje Slovenije, saj so vrednosti povprečnega prejetega dnevnega globalnega horizontalnega sevanja za Ljubljano zelo blizu mediani povprečnega prejetega dnevnega globalnega horizontalnega sevanja Slovenije (slika 17 (a)), medtem ko se povprečna letna temperatura v Ljubljani,  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nahaja v razponu med  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tako kot pri 53 % vseh preostalih lokacijah v Sloveniji (slika 17 (b)).



(a)



(b)

**Slika 17:** Graf kumulativne porazdelitvene funkcije (a) povprečnega globalnega prejetega sevanja na horizontalni ploskvi na dan v Sloveniji in (b) povprečne letne temperature zraka v Sloveniji. Podnebni podatki so bili pridobljeni s spletne strani Global Solar Atlas (2020). Vir: lasten.

**Figure 17:** Cumulative distribution function for (a) global horizontal irradiation radiation per day in Slovenia and (b) average day temperature in Ljubljana. Weather data obtained from the website Global Solar Atlas (2020). Source: author.

Na fasadni plašč osrednje stavbe smo postavili mrežo s celicami velikosti 1,00 m × 1,00 m. Iz posameznih vrednosti prejetega sončnega sevanja smo izračunali povprečno količino prejetega sončnega sevanja na enoto površine v času ogrevalne sezone.

Računalniško simulacijo smo izvedli za 360 variant tipologije, FZ, FI in lege stavb, opisanih v poglavju 4.4. Dodali smo 6 variacij orientacije, ki pri izračunu energijske komponente osončenosti odločilno vpliva na količino prejetega sevanja, torej je bilo končno število variacij 2160. S pomočjo grafiknov, ki prikazujejo odvisnost količine sončnega sevanja od različnih urbanističnih kazalcev, smo za preverjane tipologije določili optimalne lege, gostote in orientacije stavb ter določili vpliv vsakega od kazalcev na količino prejetega sončnega sevanja.

#### 4.6.2 Določitev mejnih vrednosti osončenosti fasade in primerjava z osončenostjo fasad v kontekstu okoliške zidave

Solarni potencial stavbnega ovoja vpliva na energijo, potrebno za ogrevanje in hlajenje stavbe, na porabo elektrike za razsvetljavo ter, v primeru uporabe fotonapetostnih modulov, na količino proizvedene elektrike (Nault et al., 2015). Sončna energija se lahko izkorišča aktivno, torej s fotonapetostnimi moduli in solarnimi kolektorji, ter pasivno, s solarnimi dobitki skozi zastekljene površine. Mejne vrednosti solarnega potenciala se lahko določi v odvisnosti od dejanskih potreb stavb po energiji (npr. Lobaccaro et al., 2017; Natanian in Auer, 2018) ali z mejnimi vrednostmi glede načina njenega izkoriščanja. Compagnon (2004) je določil pavšalne mejne vrednosti sončnega sevanja za fotonapetostne module na fasadah in strehah stavb, za aktivne sončne kolektorje ter za pasivne solarne dobitke, ki so jih raziskovalci uporabili v številnih nadaljnjih študijah o solarnem potencialu (Cheng et al., 2006; Montavon, 2010; Nault, Rey in Andersen, 2013). Te vrednosti so pri fasadah 800 kWh/m<sup>2</sup>a za fotonapetostne module in 400 kWh/m<sup>2</sup>a za solarne kolektorje. Ker je pri sodobnih energijsko učinkovitih stavbah načeloma edini bistveni element, ki vpliva na izkoriščanje pasivnih dobitkov sončne energije v stavbi, odprtina, namenjena osvetlitvi, je po Compagnonu mejna vrednost  $G_{pa\_mejna}$  določena kot količina sončne energije, prejeta skozi zastekljeno odprtino, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi njo. Tako je  $G_{pa\_mejna}$  odvisna od značilnosti podnebja in zasteklitve ter se izračuna, kot je prikazano v enačbi (1),

$$G_{pa\_mejna} \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] = \frac{(24 \times T_{prim} \times U)}{(1000 \times g \times \eta)} \quad (1)$$

kjer je  $T_{prim}$  [K] temperaturni primanjkljaj,  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] koeficient toplotne prehodnosti stekla,  $g$  prepustnost sončnega sevanja in  $\eta$  faktor izkoriščenosti, ki zmanjša solarne dobitke zaradi dinamičnega obnašanje stavbe in njenih stanovalcev.

Temperaturni primanjkljaj v sezoni je vsota dnevni razlik temperature med notranjo in zunanjo povprečno dnevno temperaturo zraka, ko je povprečna dnevna temperatura nižja ali enaka bazni temperaturi. Podatke o temperaturnem primanjkljaju za leti 2018 in 2019 smo pridobili na spletni strani

Evropske agencije za okolje (EEA, 2020), pri čemer smo po metodologiji Eurostata (EEA, 2020) kot bazno temperaturo pri izračunu temperaturnega primanjkljaja uporabili  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za faktor izkoriščenosti  $\eta$  je bila po zgledu predhodnih študij (Compagnon, 2004; Cheng et al., 2006; Montavon, 2010; Nault, Rey in Andersen, 2013) določena vrednost 0,7. Predpostavili smo toplotno prehodnost stekla  $U = 1,1\text{ W/m}^2\text{K}$ , ki je najvišja dovoljena s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010), ter prepustnost sončnega sevanja  $g = 0,63$ , ki za sodobne dvoslojne zasteklitve ustreza izbrani vrednosti  $U$  (Reflex, 2020). Z namenom povečanja uporabne vrednosti rezultatov s prikazom vpliva sevalno fizikalnih lastnosti zasteklitve na solarne dobitke smo izračun mejnih vrednosti osončenosti ponovili z naborom zasteklitev z različnimi fizikalno sevalnimi lastnostmi. V zadnjem koraku smo z mejno vrednostjo primerjali simulirane povprečne vrednosti prejete količine sončnega sevanja na enoto površine fasade v času ogrevalne sezone, pridobljene s postopkom, opisanim v poglavju 4.4.1.

#### 4.7 Preveritev svetlobne komponente osončenosti

Kot že zapisano, smo kot podlago za preveritev osvetljenosti stavbnega ovoja stavb uporabili standard SIST EN 17037: Dnevna svetloba v stavbah, ki določa minimalna priporočila osvetljenosti notranjih bivalnih in drugih naseljenih prostorov z naravno svetlobo. V SIST EN 17037 obstajajo štirje kriteriji za oceno dnevne svetlobe v notranjih prostorih: zagotavljanje dnevne svetlobe, kakovost pogleda zunanega okolja, izpostavljenost bivalnih prostorov neposredni osončenosti in zaščita pred bleščanjem. Ker je namen disertacije med drugim proučiti količino dnevne svetlobe v prostorih, kjer osvetljenost z dnevno svetlobo zmanjšujejo sosednje stavbe z namenom določiti največjo gostoto stanovanjskih naselij, smo izmed štirih kriterijev uporabili le minimalna merila za zagotavljanje dnevne svetlobe.

Kriteriji za zagotavljanje dnevne svetlobe v SIST EN 17037 navajajo, da je prostor z dnevno svetlobo ustrezno osvetljen, če so ciljne ravni osvetljenosti dosežene na določenem delu referenčne ravnine v prostoru vsaj polovico svetlih ur dneva. Glede na metodologijo, priporočeno v SIST EN 17037, obstajata dva načina za izračun dnevne svetlobe: prvi predvideva izračun  $D$  na referenčni ravnini z določenimi vrednostmi za ciljni in minimalni  $D$ , ki jih je treba doseči glede na dano lokacijo. Drugi način je izračun stopnje osvetljenosti z uporabo podnebnih podatkov o osvetljenosti in ustreznega časovnega koraka.

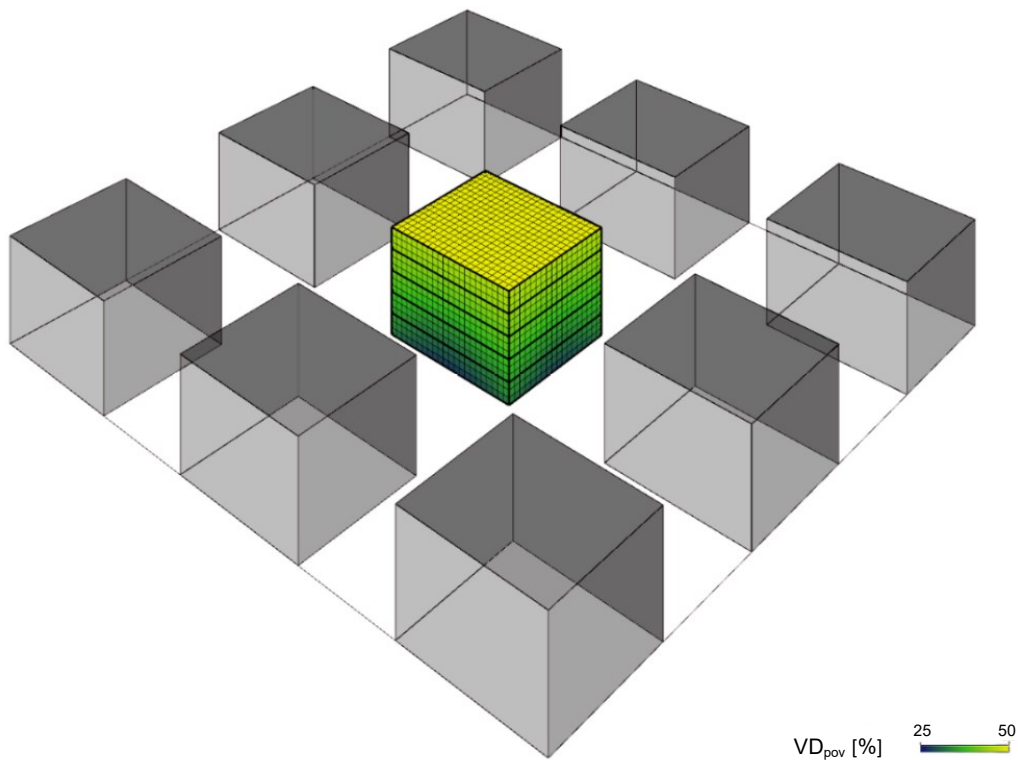
Metoda določitve  $D$ , ki predstavlja razmerje med osvetljenostjo točke v prostoru ter osvetljenostjo točke na horizontalni ravnini pri neovirani hemisferi v istem časovnem obdobju, je enostavnejša, saj predvideva oblačno nebo in zato ne vključuje vpliva direktne osončenosti, kar posledično pomeni tudi, da usmerjenost oken ne vpliva na osvetljenost prostora. Metoda določitve faktorja dnevne svetlobe  $D$  ni povsem zanesljiva pri napovedovanju dejanske osvetljenosti z dnevno svetlobo. Za zagotovitev boljše osvetljenega notranjega okolja je priporočljiva hkratna uporaba več metrik (Lee, Boubekri in Liang, 2019). Kljub temu je metoda z  $D$  primerna za preveritev osvetljenosti v najslabših možnih razmerah, ki vključujejo oblačno nebo (Tregenza in Mardaljevic, 2018), zato je bila zaradi univerzalnosti uporabljena v disertaciji.



Kljub temu da zahteve navedenega standarda niso neposredno uporabne za urbanistično načrtovanje, jih lahko uporabimo posredno. To je mogoče doseči s povezavo osvetljenosti referenčne ravnine prostora z dnevno svetlobo v obliki D z dnevno osvetljenostjo fasade prostora, VD na fasadi. Tako se določijo najnižje vrednosti VD, pri katerih je notranjost sobe osvetljena v skladu z zahtevami SIST EN 17037. Te se primerjajo z vrednostmi VD, ki so izračunane za osrednjo stavbo modelov, ki smo jih vzpostavili z metodo, opisano v 4.7. Cilj primerjave je ugotoviti, kako so proučevani urbanistični kazalci povezani s potencialom za osvetljenost stavbe z dnevno svetlobo ter določiti največje dovoljene gostote stanovanjskih zazidav.

#### **4.7.1 Analiza vpliva urbanističnih kazalcev na doseženi potencial za osvetljenost z dnevno svetlobo**

Za simulacije  $VD_{pov}$  na fasadi v kontekstu okoliške zidave so bile fasade osrednje stavbe modelov, ki so opisani v poglavju 4.4, razdeljene na nadstropje, torej 3 m visoke segmente, na katere smo postavili mrežo s celicami velikosti  $1,00\text{ m} \times 1,00\text{ m}$  (slika 18) ter iz vrednosti VD presečišč mreže izračunali  $VD_{pov}$  za vsako od posamičnih etaž. Ker so stanovanja v večstanovanjskih stavbah večkrat umeščena že v pritličje, skoraj vedno pa v prvo nadstropje stavbe, smo nadalje primerjali  $VD_{pov}$  fasad pritličja in prvega nadstropja različnih modelov kot najslabše osvetljenih delov stavbe. Kot pri analizi solarnih dobitkov smo nadalje s pomočjo grafov, ki prikazujejo odvisnost količine  $VD_{pov}$  fasad pritličja in prvega nadstropja na osrednji stavbi vseh modelov od FI, določili optimalne lege, gostote in orientacije stavb za preverjane tipologije ter vpliv posamičnih kazalcev na osvetljenost fasade z dnevno svetlobo.



**Slika 18:** Ponazoritev simulacije  $VD_{pov}$  na fasadi osrednje zgradbe modela. Vir: lasten.  
**Figure 18:** Illustration of the simulation of  $VD_{avg}$  on the facade of the central building of the model. Source: author.

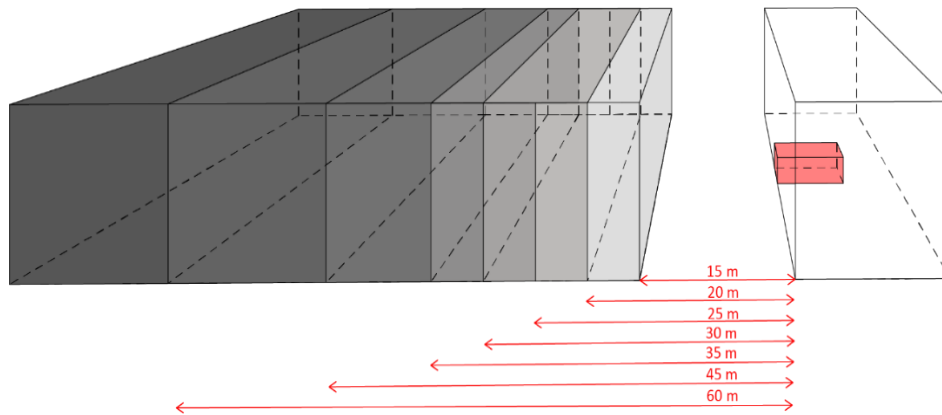
#### 4.7.2 Analiza zagotavljanja dnevne svetlobe v stanovanjskih prostorih in določitev mejnih vrednosti osvetljenosti fasade

Za določitev najnižjega  $VD_{pov}$  na fasadi sobe, katere notranjost ustreza minimalnim zahtevam po osvetljenosti z dnevno svetlobo standarda SIST EN 17037, smo oblikovali model najglobljega, najnižjega in najožjega enostransko osvetljenega prostora z najmanjšim oknom, ki ga dovoljuje Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). Odločitev za uporabo minimalnega standarda izhaja iz vodilne misli, da se takšni prostori v resnici gradijo in morajo ustrezati minimalnemu standardu osvetljenosti.

Sobo, široko 3,75 m, dolgo 7,50 m in visoko 2,50 m, smo umestili na sredino pritlične etaže 45 m dolge in 15 m visoke stavbe. V zunanjo fasadno steno debeline 400 mm smo vstavili 3,75 m široko in 1,50 m visoko okno z 0,90 m visokim parapetom (slika 19). Velikost odprtine, namenjene naravni osvetlitvi, je minimalna dovoljena s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj ter ustreza 20 % tlorisne površine sobe. Predpostavili smo svetlobno prepustnost zasteklitve 0,81, kar ustreza vrednostim, značilnim za sodobne dvoslojne zasteklitve (Reflex, 2020), medtem ko je bilo celotno okno od zunanje fasadne površine odmaknjeno 150 mm. Odsevnosti notranjih sten, stropa in tal so bile določene v skladu s priporočili standarda SIST EN 17037 in so predstavljene v preglednici 2.



prostorov. V zadnjem koraku smo določili najvišje gostote zazidav, ki jih lahko dosežejo posamični modeli glede na ustrezno osvetljeno globino sobe.



**Slika 20:** Dodajanje nasproti ležeče stavbe na različnih razdaljah za zmanjšanje količine dnevne svetlobe na fasadi in v modelirani sobi. Vir: lasten.

**Figure 20:** Addition of an opposing building at various distances to reduce the amount of daylight in on the facade and in the modelled room. Source: author.

#### 4.8 Oblikovanje in preveritev priporočil za urbanistično načrtovanje večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja

Z združitvijo spoznanj o vplivu urbanističnih kazalcev na osončenost fasad stavb, pridobljenih s postopkoma, opisanimi v poglavjih 4.6 in 4.7, smo oblikovali priporočila za optimizacijo zasnov večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja. Pri oblikovanju priporočil smo upoštevali, da mora biti minimalna osvetljenost, predpisana s SIST EN 17037, zagotovljena tudi tistim sobam, ki se nahajajo v najnižjih nadstropjih. Zato smo s polinomskimi trendnimi črtami povezali vrednosti  $VD_{pov}$ , dosežene na fasadi pritličja in prvega nadstropja, z vrednostmi FI posameznega modela. Te smo nato primerjali z najnižjimi  $VD_{pov}$  na fasadi testne sobe, predstavljene v poglavju 4.7.2, ko je bila njena notranjost v različnih globinah osvetljena v skladu s SIST EN 17037, ter določili največje možne gostote zazidav, definirane s FI in FZ za vsakega od primerov. Smiselnost tako oblikovanih priporočil smo preverili s primerjavo predvidene stopnje osvetljenosti prostorov glede na FI in FZ zazidav ter tipa in lege stavb z dejansko osvetljenostjo prostorov v dveh izbranih primerih večstanovanjskih zazidav.

## 5 REZULTATI

### 5.1 Vpliv urbanističnih kazalcev na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe

#### 5.1.1 Korelacija med količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe in urbanističnimi kazalci

Na količino sončnega sevanja, prejetega na fasadi stavbe, vplivajo vsi preverjeni kazalci: gostota zazidave – tako FZ kot FI –, tipologija, orientacija in lega večstanovanjskih stavb. Z računalniškimi simulacijami pridobljene povprečne količine sončnega sevanja v času ogrevalne sezone na enoto površine fasade najbolj osenčene, osrednje stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zazidave z orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu so povzete v preglednici 10. Vrednosti za preostale tipologije in orientacije stavb so povzete v preglednicah prilog A–K.

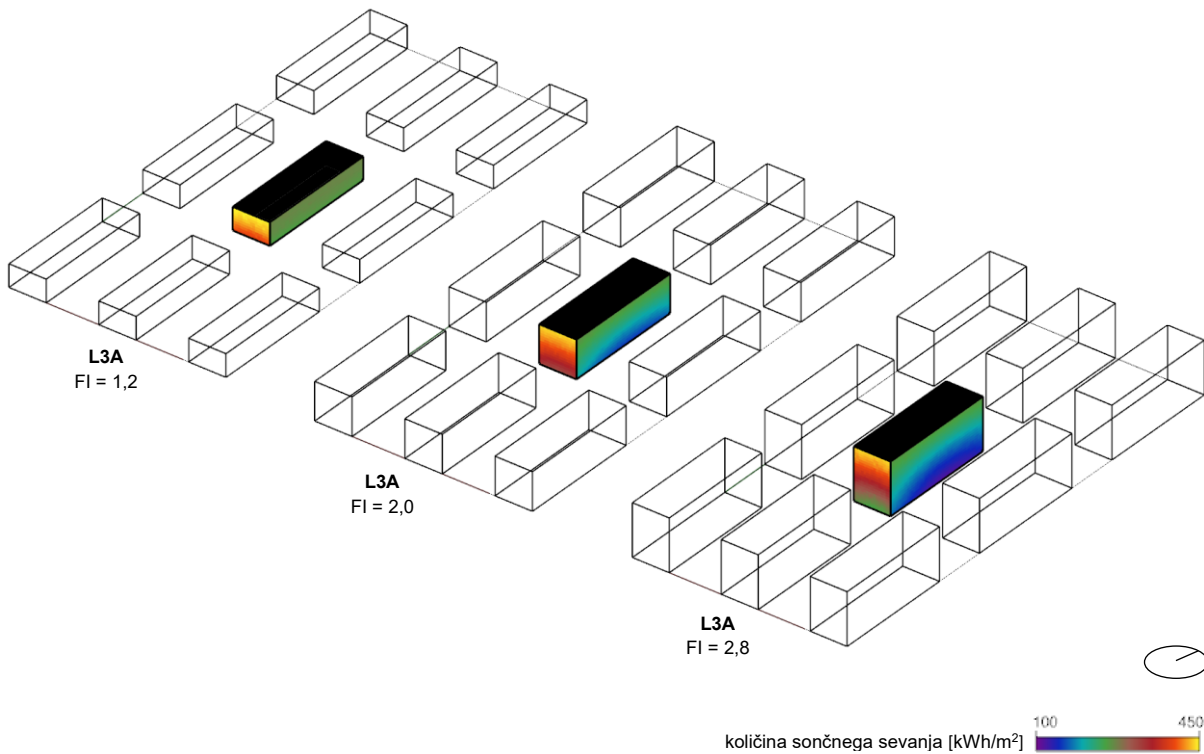
**Preglednica 10:** Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zazidave z orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone.

**Table 10:** *The average amounts of solar radiation per unit area on the facade for the most shaded (central) building of the models for linear typologies with the orientation of the longer sides to the east and west during the heating season.*

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>z</sub> 1A	K <sub>z</sub> 1B	K <sub>z</sub> 1C
3	0,6	277,29	278,38	277,25	273,85	275,48	273,78	278,21	279,11	278,28
4	0,8	274,69	276,05	274,52	269,42	271,74	269,19	276,12	277,34	276,08
5	1,0	271,40	273,35	271,28	264,59	267,48	264,20	273,79	275,39	273,69
6	1,2	267,88	270,33	267,57	259,51	262,96	259,04	271,15	273,09	271,04
7	1,4	264,18	267,00	263,91	254,34	258,35	254,06	268,28	270,70	267,96
8	1,6	260,40	263,57	259,96	249,31	253,88	248,81	265,22	268,01	264,88
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>z</sub> 2A	K <sub>z</sub> 2B	K <sub>z</sub> 2C
3	0,9	269,23	271,55	269,45	261,67	265,24	261,99	272,02	273,86	272,20
4	1,2	262,53	265,72	262,82	252,16	256,90	252,36	266,88	269,60	267,13
5	1,5	255,37	259,51	255,58	242,53	248,22	242,81	261,34	264,80	261,49
6	1,8	248,24	253,03	248,39	233,15	239,77	233,67	255,42	259,56	255,56
7	2,1	241,02	246,63	241,39	224,46	231,68	225,10	249,42	254,27	249,69
8	2,4	234,14	240,44	234,67	216,20	224,21	217,12	243,49	248,98	243,75
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>z</sub> 3A	K <sub>z</sub> 3B	K <sub>z</sub> 3C
3	1,2	256,48	259,90	259,83	243,69	248,35	244,83	262,16	264,87	263,29
4	1,6	244,39	249,09	248,99	228,05	233,99	229,50	252,53	256,29	253,46
5	2,0	232,42	238,34	238,22	213,31	220,53	215,42	242,64	247,45	243,70
6	2,4	221,20	227,99	227,87	200,13	208,30	202,74	232,94	238,55	234,34
7	2,8	210,65	218,18	218,17	188,37	197,49	191,74	223,55	230,01	225,27
8	3,2	200,87	209,21	209,16	178,09	188,09	182,07	214,60	221,76	216,72
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>z</sub> 4A	K <sub>z</sub> 4B	K <sub>z</sub> 4C
3	1,5	237,10	240,66	238,78	219,72	221,23	218,86	246,73	249,62	248,03
4	2,0	219,06	223,59	221,43	198,41	200,22	197,71	231,55	235,36	233,41
5	2,5	202,53	207,88	205,63	180,42	182,65	180,19	217,03	221,44	219,30
6	3,0	187,65	193,93	191,61	165,59	167,99	165,77	203,40	208,62	206,27
7	3,5	174,95	181,72	179,57	153,13	155,87	153,84	190,96	196,79	194,48
8	4,0	163,80	171,15	169,17	142,56	145,47	143,68	180,00	186,30	184,01

### 5.1.1.1 Vpliv faktorja izrabe na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe

Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade v času ogrevalne sezone se z višanjem objektov ter posledičnim višjim FI zazidave manjša zaradi povečanega senčenja spodnjih etaž stavbe (slika 21).



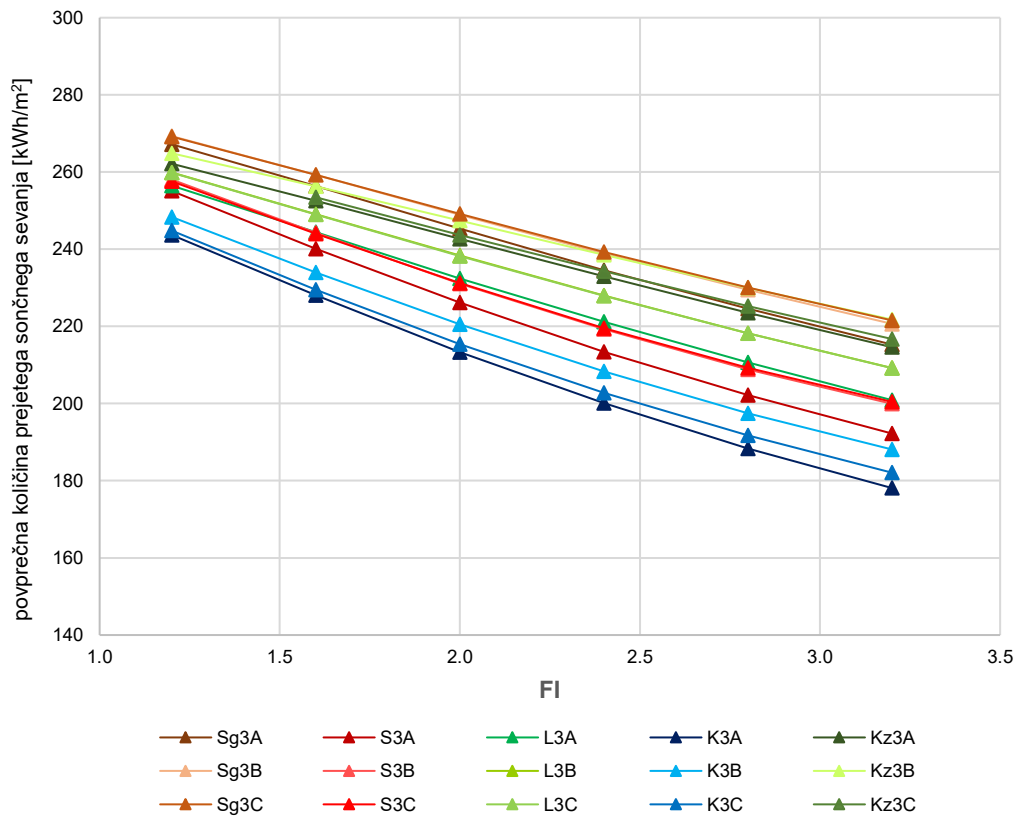
**Slika 21:** Ilustracija vpliva FI na osončenost fasadnega ovoja stavbe na primeru modela lamelnih blokov s FZ 40 %. Povprečna količina sončnega sevanja na enoto površine fasade v času ogrevalne sezone se z višanjem FI manjša kot posledica povečanega senčenja spodnjih etaž stavbe. Vir: lasten.

**Figure 21:** An illustration of the influence of FAR on the insolation on the building facade in the case of linear buildings with shared vertical access and 40% site coverage. The average amount of solar radiation per unit area on the facade in the heating season decreases with increasing FAR due to increased shading of the lower floors of the building. Source: author.

Analiza osončenosti osrednje stavbe vseh modelov kaže, da sta osončenost fasad in FI povezana z močno negativno korelacijo: Pearsonov koeficient korelacije sega od  $-1,00$  za variacije z nižjim FZ do  $-0,99$  za variacije z višjim FZ in bolj razdrobljenimi tlorisi, kot sta stolpič in koridorski blok z zunanjim hodnikom. Povprečna količina prejetega sončnega sevanja se z višanjem FI hitreje niža pri zazidavah z višjimi FZ.

Kot je razvidno iz slike 22, ki prikazuje količino v času ogrevalne sezone prejetega sončnega sevanja na fasadi stavb zazidav s FZ = 40 % in orientacijo daljših stranic stavbe proti vzhodu, je razlika v količini prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade pri višanju stavb in posledično višjem FI večja pri tipologijah z manjšimi tlorisnimi gabariti in manjšimi odmiki med njimi. To sta tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom in stolpiča, ki sta na sliki 22 predstavljena v modri in rdeči barvi. Razlika

je manjša pri tipologijah z večjimi tlorisnimi gabariti in odmiki, kot sta koridorski blok in globoki stolpič, ki sta na sliki 22 predstavljena v zeleni in rjavi barvi. Tako se pri povišanju FI od 1,2 do 3,2 količina prejetega sončnega sevanja pri tipologiji globokega stolpiča z zamiki zniža za do 47,6 kWh/m<sup>2</sup>, torej 17,7 %, in za do 65,6 kWh/m<sup>2</sup>, torej 26,92 %, pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom.

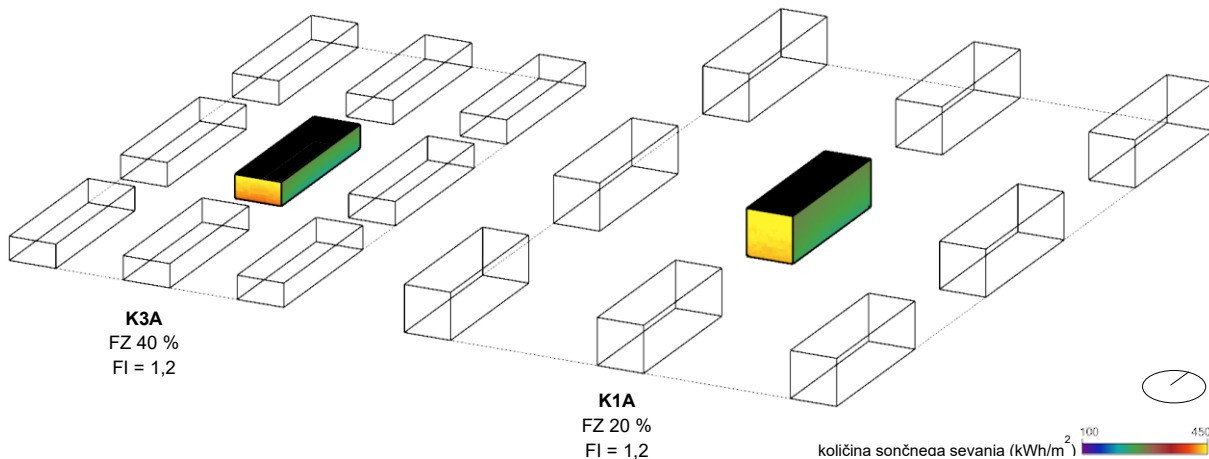


**Slika 22:** Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri zazidavah vseh tipologij in leg pri FZ = 40 % in orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu. Vir: lasten.

**Figure 22:** The average amount of solar radiation received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for models of all typologies and placements of buildings with 40% site coverage and longer sides of the building facing east and west. Source: author.

### 5.1.1.2 Vpliv faktorja zazidanosti na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe

Tudi drugo merilo gostote pozidave, tj. FZ, bistveno vpliva na količino prejetega sončnega sevanja na fasadnem ovoju stavbe. Kot je razvidno iz grafične ilustracije prejete količine sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe modela koridorskega bloka z orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu (slika 23), je količina prejetega sončnega sevanja pri enakem FI manjša pri višjem FZ. To pomeni, da so boljše osončene višje stavbe z manjšimi medsebojnimi odmiki.



**Slika 23:** Ilustracija vpliva FZ na osončenost fasadnega ovoja stavbe na primeru modelov koridorskih blokov s FZ = 20 % in FZ = 40 % ter enakim FI. Povprečna količina sončnega sevanja na enoto površine fasade je kljub enakemu FI v obeh primerih večja pri nižjem FZ. Vir: lasten.

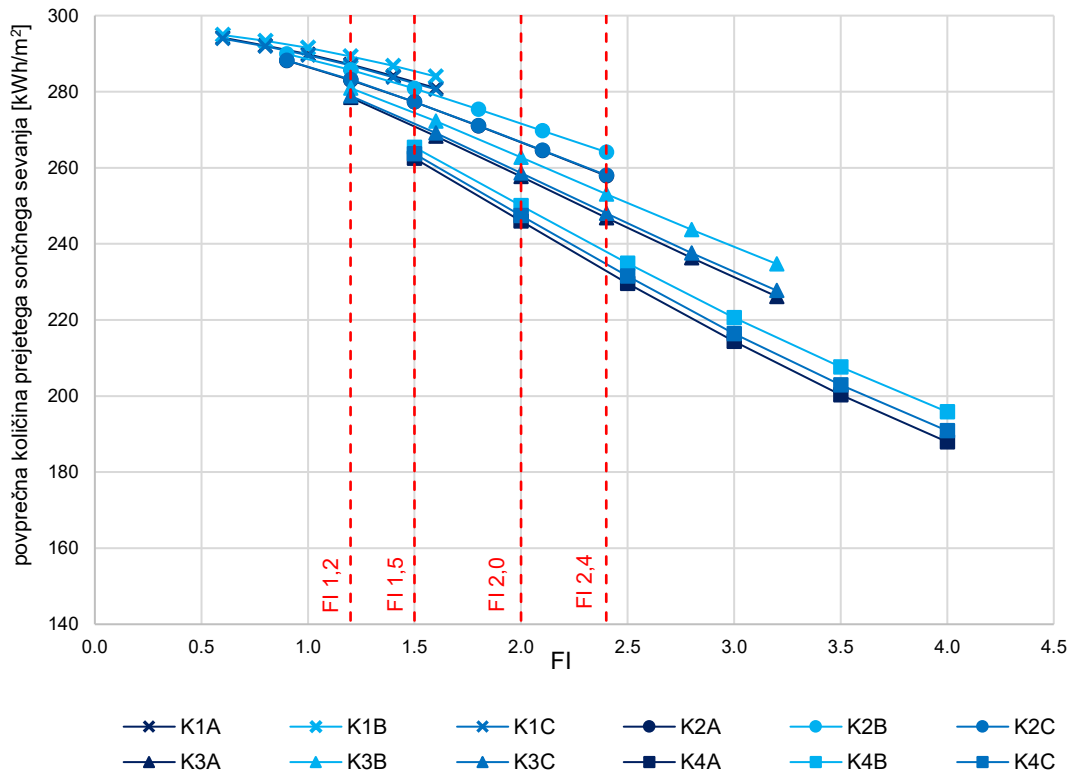
**Figure 23:** An illustration of the influence of site coverage on the insolation on the building facade in the case of linear buildings with the shared interior horizontal access and site coverage of 20% and 40%. The average amount of solar radiation per unit area on the facade is higher when site coverage is lower despite FAR being the same in both cases. Source: author.

Kot je razvidno na sliki 24, ki prikazuje v času ogrevalne sezone prejeto količino sončnega sevanja pri tipologiji koridorskega bloka z daljšima stranicama orientiranima proti vzhodu in zahodu pri vseh FZ in legah, je razlika med količino prejetega sončnega sevanja pri različnih FZ večja pri višjih FI. Tako je pri FI = 1,2 razlika med količino prejetega sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe modela K3B s FZ = 40 % za 8,4 kWh/m<sup>2</sup>, torej za 2,9 % manjša kot na fasadi osrednje stavbe modela K1B s FZ = 20 %. Pri FI = 1,5 je razloček večji. Razlika med količino prejetega sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe modela K4B s FZ = 50 % je v tem primeru za 15,4 kWh/m<sup>2</sup>, torej za 5,5 % manjša kot na fasadi osrednje stavbe modela K3B s FZ = 40 %.

Pri nižjih FZ so razlike načeloma manjše kot pri višjih. Tako razlika v količini prejetega sevanja med zazidavama z nižjima FZ, K2B s FZ = 30 % in K3B s FZ = 40 %, pri višjem FI = 2,4, znaša 11,0 kWh/m<sup>2</sup>, torej 4,17 %, medtem ko je razlika med zazidavama z višjima FZ, K3B s FZ = 40 % K3B in K4B s FZ = 50 %, pri nižjem FI = 2,0 večja in znaša 12,4 kWh/m<sup>2</sup>, torej 4,9 %.

Razlike v prejeti količini sončnega sevanja pri enakem FI in različnih FZ so večje pri tipologijah z manjšimi tlorisnimi gabariti in manjšimi odmiki med posamičnimi stavbami.



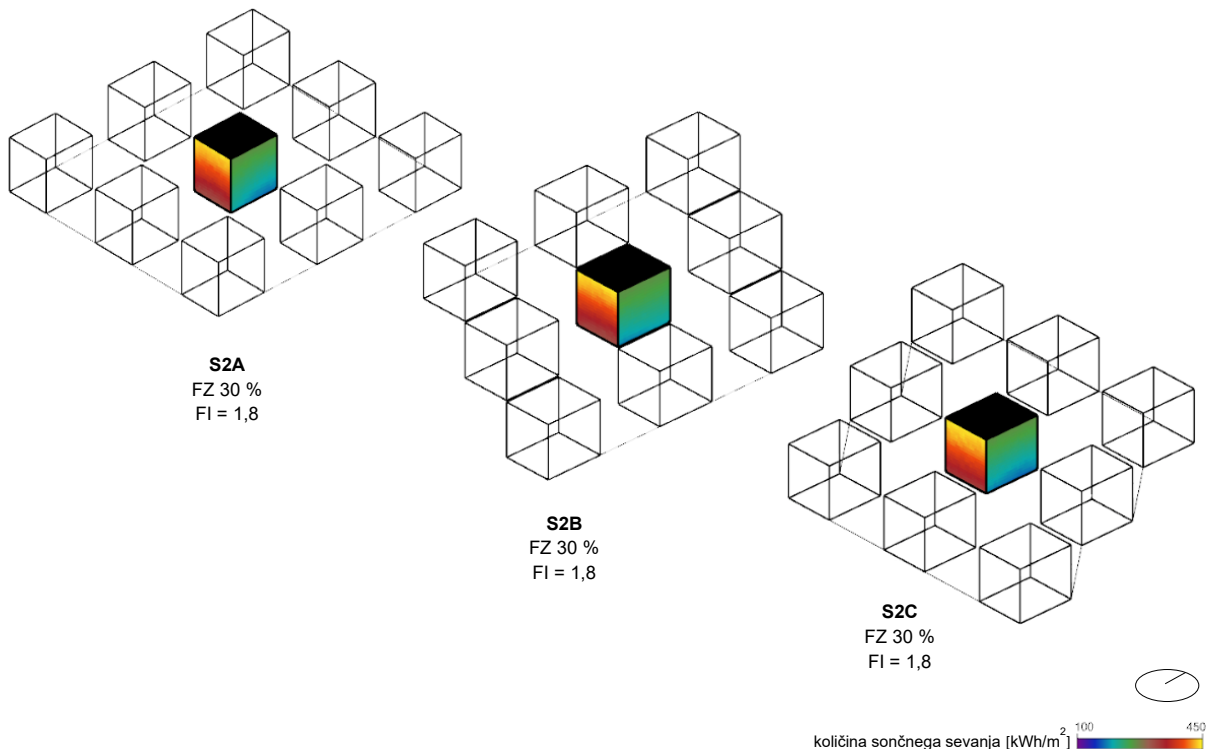


**Slika 24:** Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone različnih FZ pri tipologiji koridorskega bloka z notranjim hodnikom brez zamikov in orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu. Vir: lasten.

**Figure 24:** The average amount of solar radiation received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for all site coverage values for linear buildings with shared interior horizontal access, parallel placement of buildings and the longer sides of the building facing east and west. Source: author.

### 5.1.1.3 Vpliv zamika stavb na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe

Zamik objektov po daljši ali krajši stranici omogoči boljšo osončenost osrednje stavbe modelov (slika 25).



**Slika 25:** Ilustracija vpliva zamika na količino prejetega sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe modela pri tipologiji stolpiča in orientaciji daljših stranic proti vzhodu in zahodu z nespremenjenima FZ in FI. Povprečna količina sončnega sevanja na enoto površine fasade je najmanjša pri vzporedni legi stavb in največja pri zamiku vzdolž daljše stranice. Vir: lasten.

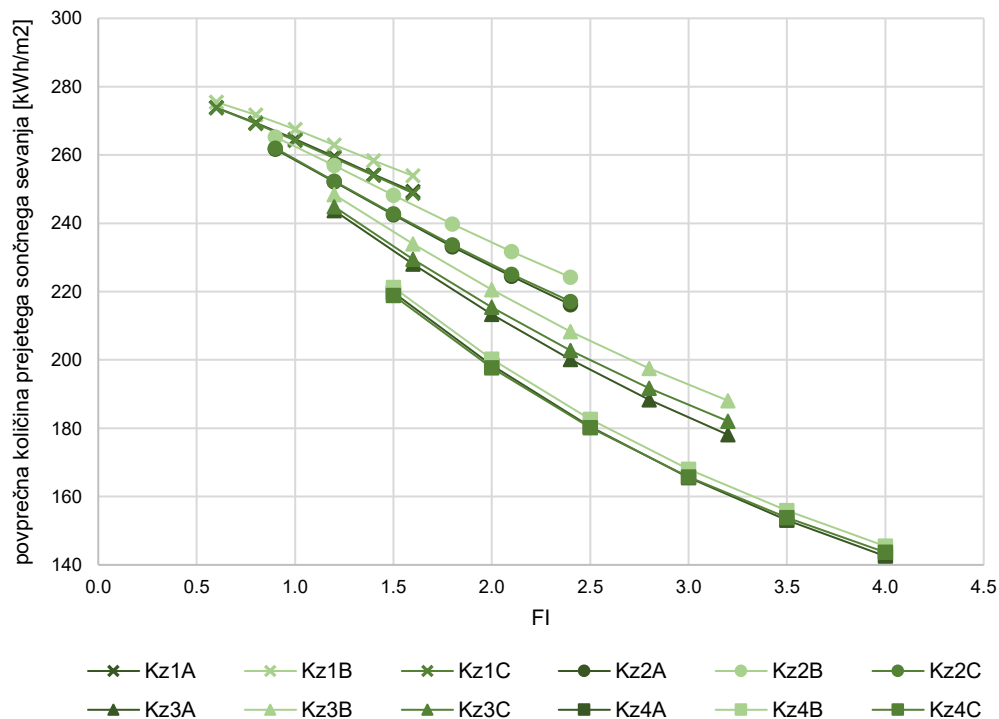
**Figure 25:** An illustration of the influence of a shift in placement on the insolation on the building facade in towers with equal site coverage, FAR and the longer sides of the building facing east and west. The average amount of solar radiation per unit area of the facade is lowest when building placement is parallel and highest when it is shifted along the longer side of the buildings. Source: author.

Razlika med povprečno količino prejetega sončnega sevanja na fasadi pri legi stavb z zamikom ob daljši in krajši stranici je opaznejša pri linijskem vzorcu zidave, kjer so količine prejete sončne energije na enoto fasade osrednje stavbe modelov pri zamiku po krajši stranici bližje tistim pri modelih brez zamika. Zamik vzdolž daljše stranice omogoči boljšo osončenost in posledično večje količine prejetega sončnega sevanja na fasadah. To je med drugim mogoče razbrati iz poteka grafov povprečnih vrednosti količine sončnega sevanja na enoto površine fasade pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom (slika 26). Tako pri FZ = 40 % in FI = 1,2 razlika med prejeto količino sončnega sevanja med vzporedno lego stavb, K<sub>z</sub>3A, in lego stavb z zamikom vzdolž daljše stranice, K<sub>z</sub>3B, znaša 4,7 kWh/m<sup>2</sup>, torej 1,9 %; razlika med vzporedno lego stavb, K<sub>z</sub>3A, in lego stavb z zamikom vzdolž krajše stranice, K<sub>z</sub>3C, pa 1,1 kWh/m<sup>2</sup>, torej 0,5 %. Pri tipologijah točkovnega vzorca zidave so si vrednosti prejetega sončnega sevanja pri zamikih v obe strani bližje, kar je mogoče pripisati razmerju dolžine stranic, ki je pri

točkovnih objektih manjše (slika 27). Tako je pri  $FZ = 40\%$  in  $FI = 1,2$  razlika med prejeto količino sončnega sevanja med vzporedno lego stavb, S3A, in lego stavb z zamikom vzdolž daljše stranice, S3B,  $3,3 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $1,3\%$ , razlika med vzporedno lego stavb, S3A, in lego stavb z zamikom vzdolž krajše stranice, S3C, pa  $2,3 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $0,9\%$ .

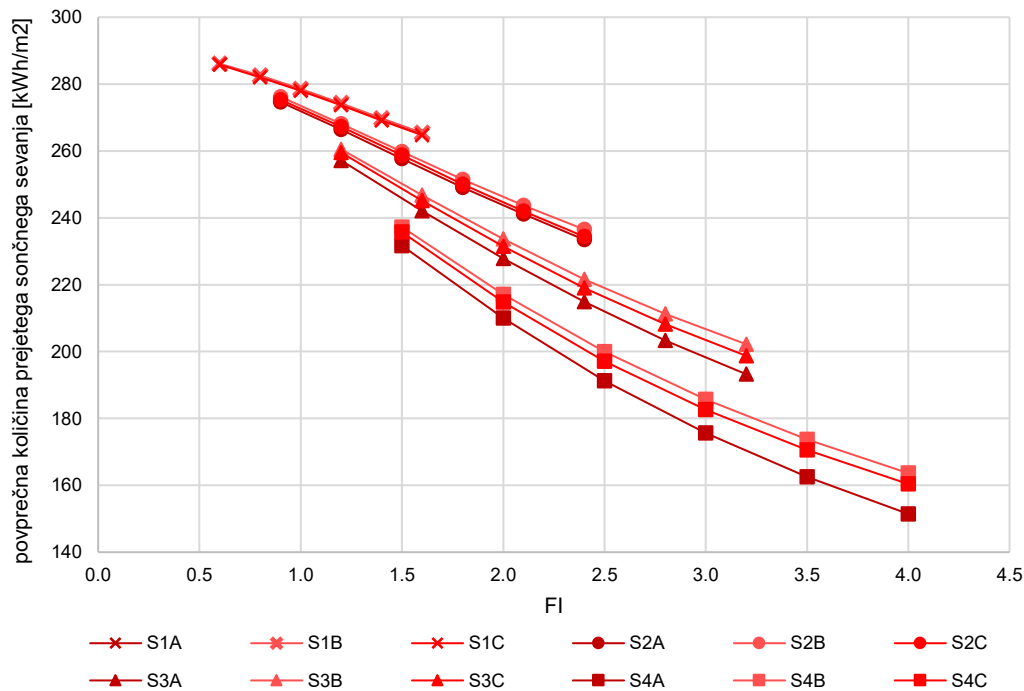
Kot je razvidno iz slik 26 in 27, se vpliv zamika pri enakem  $FZ$  z višanjem  $FI$  večja. Medtem ko je maksimalna razlika v količini na fasadi prejetega sončnega sevanja pri tipologiji stolpiča s  $FZ = 40\%$  in  $FI = 1,2$  med različnimi legami  $3,3 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $1,3\%$ , je ta razlika pri  $FI = 2$ , torej pri 2 etaži višjih stavbah,  $5,9 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $2,5\%$ . Pri višjih  $FZ$  in  $FI$  je vpliv zamika večji pri točkovnih tipologijah, kjer ta omogoči boljšo osončenost večje površine fasad. Tako maksimalna razlika v količini na fasadi prejetega sončnega sevanja pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom s  $FZ = 50\%$  pri  $FI = 2,5$  znaša  $2,3 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $1,3\%$ , medtem ko je pri enakih  $FZ$  in  $FI$  razlika v količini prejetega sončnega sevanja pri različnih legah stavb  $8,8 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $4,4\%$ .

Primerjava prejetih količin sončnega sevanja pri vseh tipologijah pokaže, da ima zamik večji vpliv na osončenost objektov, ki so bližje skupaj, kar pomeni, da je bila največja izračunana razlika v osončenosti med objekti, postavljenimi brez zamika in tistimi z zamikom po vzdolžni stranici pri tipologijah stolpiča in koridorskega bloka z zunanjim hodnikom.



**Slika 26:** Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom. Vir: lasten.

**Figure 26:** The average amount of solar energy received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for the typology of linear blocks with shared external horizontal access. Source: author.



**Slika 27:** Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri tipologiji stolpiča. Vir: lasten.

**Figure 27:** The average amount of solar energy received per unit area of the facade of the central building of the models during the heating season for the typology of towers. Source: author.

#### 5.1.1.4 Vpliv orientacije na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe

Vpliv rotacije modelov glede na smer neba kaže, da je povprečna količina prejete sončne energije na fasadi osrednje stavbe v obdobju ogrevalne sezone največja, ko je ena od daljših stranic stavbe orientirana proti jugu. Tako je bila količina prejetega sončnega sevanja na fasadah pri scenarijih z rotacijo vektorja severa za  $90^\circ$  v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu največja v stavbah vseh tipologij, leg in gostot zgradave. Količina pritokov je najmanjša pri orientaciji daljših stranic proti vzhodu in zahodu oz. pri  $30^\circ$  odmiku od te orientacije na vzhod–jugovzhod in zahod–severozahod (rotaciji vektorja severa za  $150^\circ$  v smeri urnega kazalca).

Primerjava povprečne količine prejetega sončnega sevanja na fasadah stavb vseh tipologij in orientacij v času ogrevalne sezone brez senčenja okoliških stavb (preglednica 11) kaže na manjše razlike med posameznimi tipologijami. Z višanjem stavb se povprečna količina sončnega sevanja le minimalno poveča – za največ  $2,3 \text{ kWh/m}^2$ , torej za  $0,8 \%$ , pri globokem stolpiču. Pri optimalni orientaciji daljših stranic stavb proti severu in jugu so pritoki večji na fasadah stavb tipologij linijskega vzorca zidave, medtem ko so pri orientaciji daljših stranic proti vzhodu in zahodu pritoki večji na fasadah stavb tipologij točkovnega vzorca zidave. Pri orientaciji daljših stranic stavb proti severu in jugu je razlika v količini

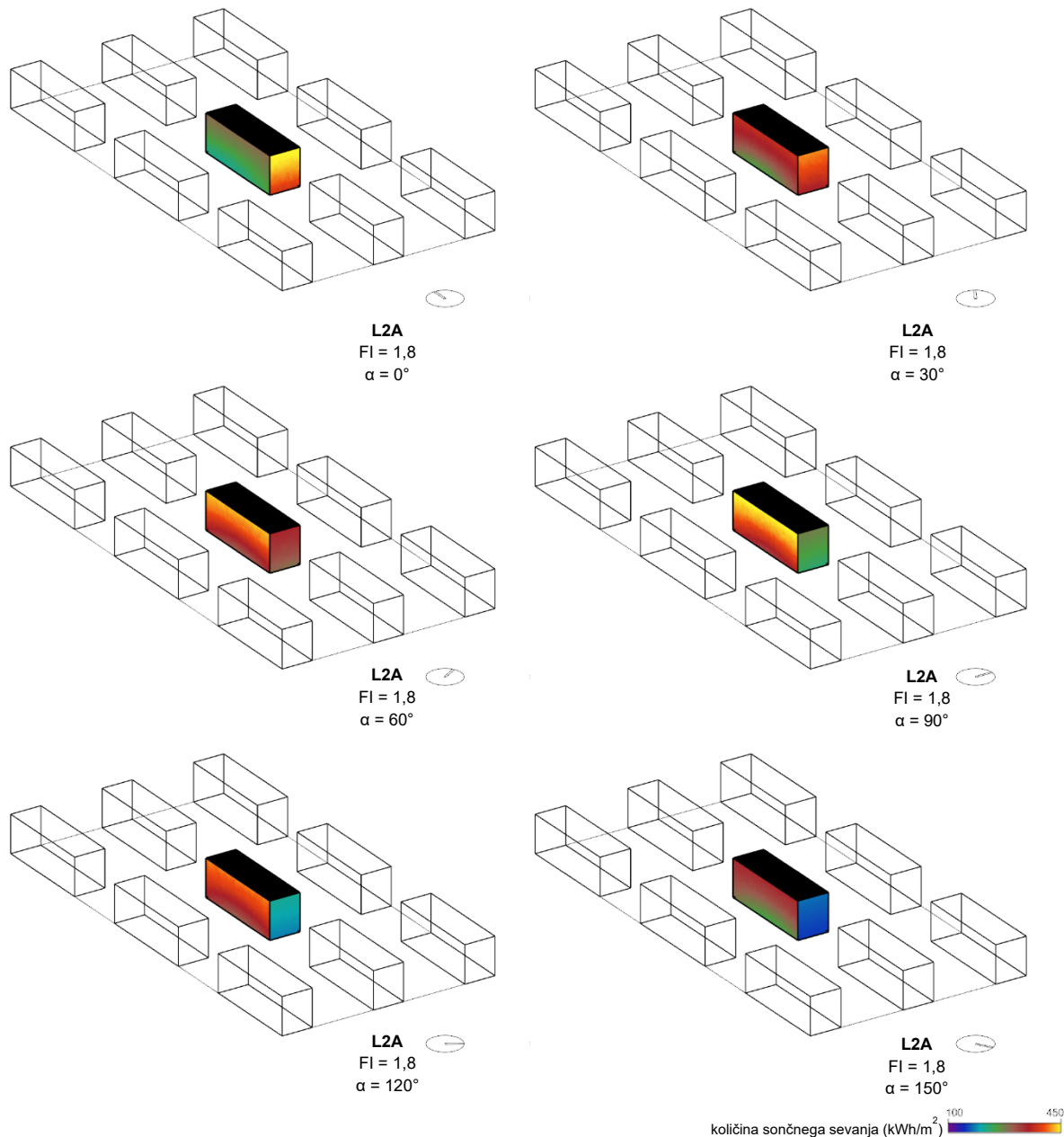
prejetega sončnega sevanja največja med tipologijama koridorskega bloka z zunanjim hodnikom in znaša 7,4 kWh/m<sup>2</sup>, torej 2,4 %. Pri orientaciji daljših stranic stavbe na vzhod–jugovzhod in zahod–severozahod je največja razlika med tipologijama globokega stolpiča in koridorskega bloka 7,7 kWh/m<sup>2</sup>, torej 2,6 %.

**Preglednica 11:** Povprečne količine sončnega sevanja na fasadah stavb vseh tipologij, višin in orientacij v času ogrevalne sezone brez senčenja okoliških stavb.

**Table 11:** The average amount of solar energy received per unit area of the unshaded building facade of all typologies, building heights and orientations.

tipologija	višina stavbe [m]	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		rotacija vektorja severa v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti V in Z					
		0°	30°	60°	90°	120°	150°
KORIDORSKI BLOK	9	285,06	289,85	297,49	300,56	292,63	284,00
	12	285,33	290,13	297,81	300,92	293,00	284,30
	15	285,65	290,49	298,03	301,27	293,24	284,58
	18	285,95	290,79	298,53	301,56	293,46	284,86
	21	286,20	291,00	298,75	301,74	293,85	285,19
	24	286,41	291,17	298,93	302,00	294,12	285,37
LAMELNI BLOK	9	285,55	290,10	297,47	300,48	292,90	284,58
	12	286,07	290,49	297,94	300,84	293,30	285,00
	15	286,35	290,88	298,20	301,28	293,58	285,33
	18	286,74	291,21	298,68	301,55	293,95	285,66
	21	287,00	291,57	298,88	301,84	294,21	285,89
	24	287,24	291,83	299,14	302,21	294,44	286,27
KORIDORSKI BLOK Z ZUNANJIM HODNIKOM	9	285,41	290,28	298,29	301,37	293,29	284,43
	12	285,78	290,75	298,64	301,81	293,63	284,78
	15	286,18	291,16	299,02	302,27	294,08	285,19
	18	286,62	291,68	299,40	302,50	294,45	285,52
	21	286,90	291,79	299,70	302,97	294,71	285,91
	24	287,24	292,16	300,09	303,11	295,10	286,18
GLOBOKI STOLPIČ	9	292,91	291,84	291,89	294,02	292,09	290,95
	12	293,48	292,39	292,43	294,63	292,50	291,52
	15	293,96	292,93	292,89	295,12	293,04	292,00
	18	294,34	293,26	293,37	295,55	293,44	292,42
	21	294,81	293,62	293,65	295,87	293,74	292,77
	24	295,05	293,89	293,99	296,28	294,13	293,11
STOLPIČ	9	292,99	292,37	292,98	295,32	292,65	290,97
	12	293,44	292,91	293,56	295,79	293,22	291,78
	15	294,13	293,41	294,09	296,40	293,84	292,10
	18	294,57	293,94	294,58	296,71	294,24	292,52
	21	294,78	294,29	294,98	297,24	294,70	293,04
	24	295,20	294,59	295,26	297,55	294,99	293,22

Iz grafičnega prikaza količine prejetega sončnega sevanja na fasadah osrednjih stavb modelov pri tipologiji lamelnih blokov z vzporedno postavitvijo in šestih variacijah orientacije v korakih po 30° (slika 28) je jasno vidna razlika med prejeto količino sončnega sevanja na krajših in daljših fasadah stavbe pri različnih orientacijah modelov.

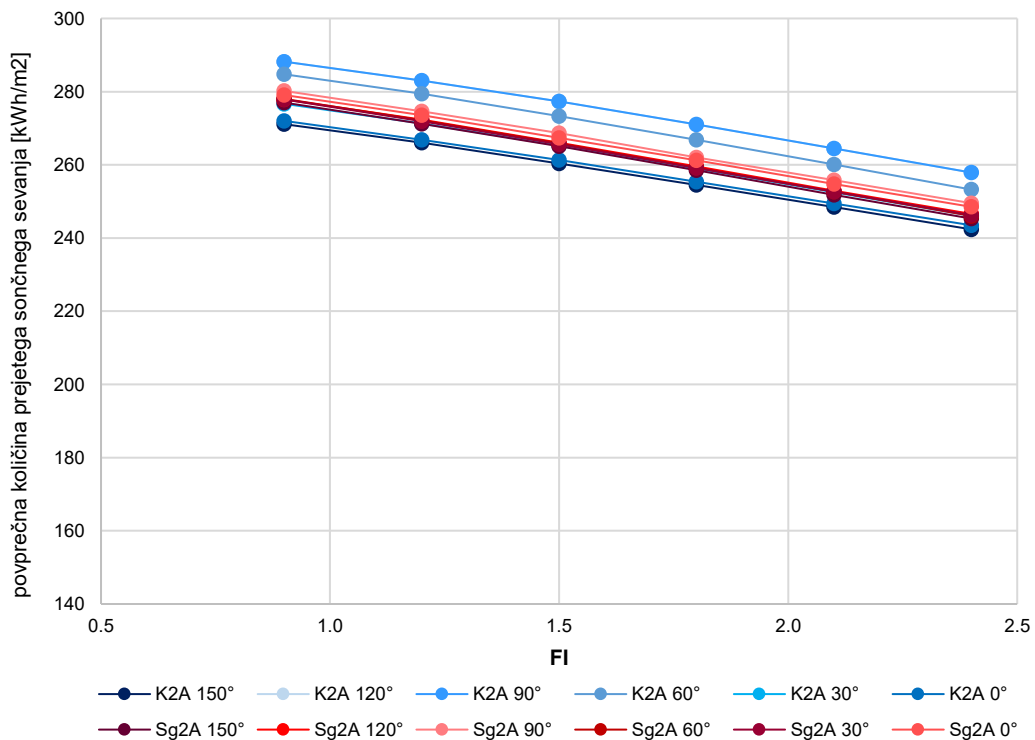


**Slika 28:** Grafična predstavitev vpliva orientacije stavbe na količino prejetega sončnega sevanja na fasadnem ovoju osrednje stavbe modela zazidave lamelnih blokov s FZ = 30 % in FI = 1,8. Količina prejete energije je največja, ko je ena od daljših stranic objekta obrnjena proti jugu (rotacija vektorja severa za 90° v smeri urnega kazalca). Vir: lasten.

**Figure 28:** A graphic representation of the influence of the orientation of the building on the amount of solar energy received on the facade envelope of the central linear building with the shared vertical access of the model with 30% site coverage and FAR = 1.8. The amount of energy received is largest when one of the longer sides of the building faces south (rotation of the north vector by 90° clockwise). Source: author.

Vpliv orientacije na količino prejetega sončnega sevanja je večji pri linijskem vzorcu zidave in manjši pri točkovnem, kar je mogoče razložiti z razliko med razmerjema stranic. To je predstavljeno na sliki 29, ki prikazuje povprečne vrednosti prejetega sončnega sevanja na fasadah osrednje stavbe pri modelih tipologij koridorskega bloka in globokega stolpiča z vzporedno postavitvijo stavb in  $FZ = 30\%$ . Razlika v količini prejetega sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe med rotacijama vektorja severa za  $90^\circ$  in  $150^\circ$  pri tipologiji koridorskega bloka pri  $FI = 0,9$  znaša  $17,1 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $5,9\%$ , medtem ko je pri enakem  $FI$  ta razlika pri tipologiji globokega stolpiča veliko manjša,  $1,1 \text{ kWh/m}^2$ , oziroma  $0,4\%$ . Razlika v količini prejete sončne energije na ovoju stavbe se pri enaki tipologiji, legi in  $FZ$  z večanjem etažnosti stavb ter posledično višjim  $FI$  nekoliko zmanjša, kar gre pripisati povečanemu vplivu senčenja, ki ga povzročajo sosednje stavbe. Tako se največja absolutna razlika med prejeto količino sončnega sevanja pri različnih orientacijah stavb tipologije koridorskega bloka s  $FZ = 30\%$  s  $17,1 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $5,93\%$  pri  $FI = 0,9$  zmanjša na  $15,5 \text{ kWh/m}^2$ , torej na  $6,0\%$ , pri  $FI = 2,4$ .

Vpliv orientacije daljših stranic je največji pri stanovanjskih zazidavah stavb z večjo tlorisno površino in večjimi odmiki med njimi, med katere sodita koridorski blok in globoki stolpič, kjer je vpliv medsebojnega senčenja stavb manjši.

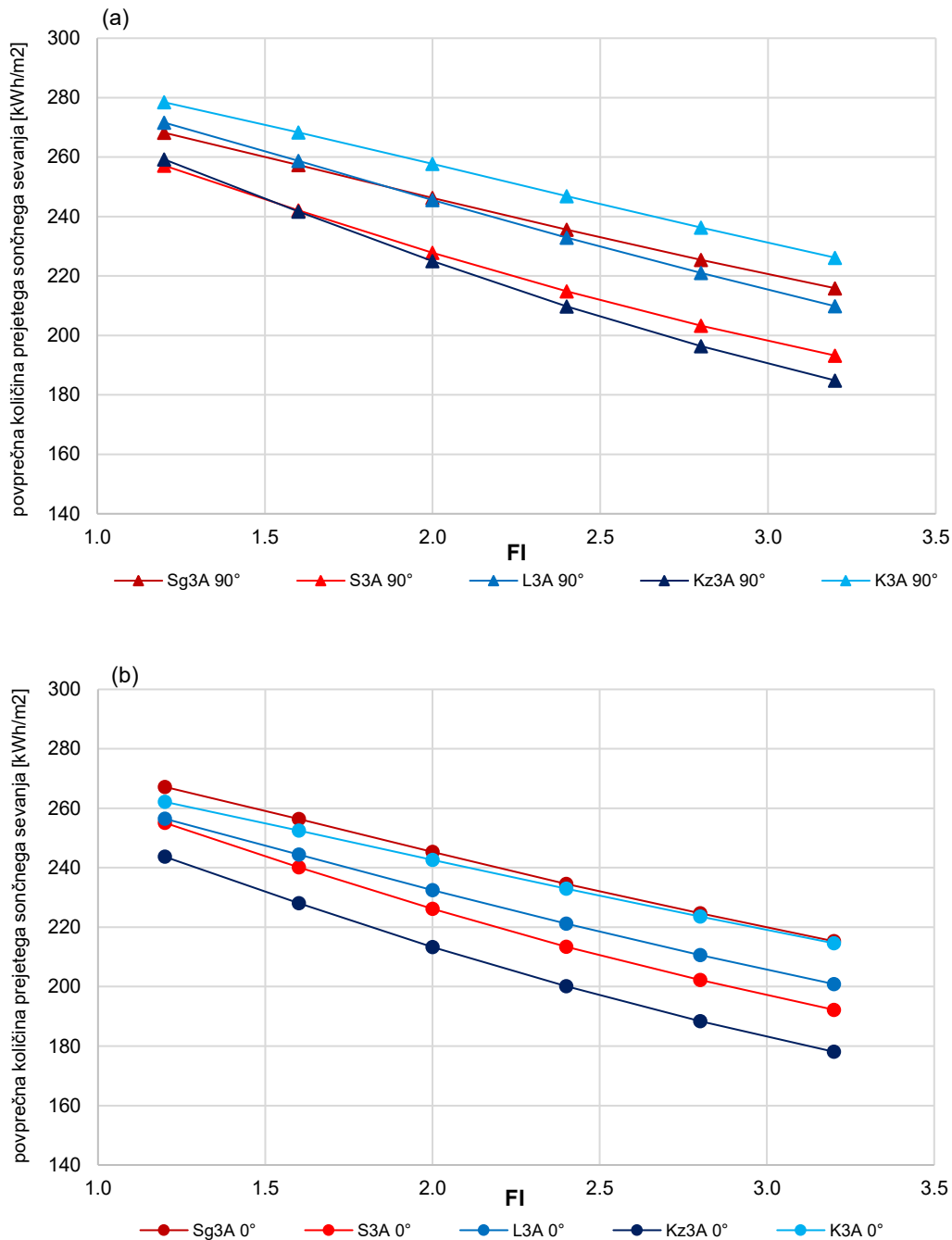


**Slika 29:** Povprečna količina prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela v času ogrevalne sezone pri vseh orientacijah zazidav globokih stolpičev (rdeča barva) in koridorskih blokov (modra barva) s  $FZ = 30\%$  in postavitvijo brez zamikov. Primerjava potekov grafov obeh tipologij pokaže na večji vpliv orientacije pri linijskih stavbah. Vir: lasten.

**Figure 29:** The average amount of solar energy received per unit area of the facade of the central building of the model during the heating season at all orientations of deep towers (red) and linear blocks with shared internal horizontal access (blue) with  $30\%$  site coverage and no shift in the placement of buildings. Comparison of the graphs of the two typologies shows greater influence of orientation on linear buildings. Source: author.

### 5.1.1.5 Vpliv tipologije stavb na količino sončnega sevanja na fasadi stavbe

Izbrana tipologija stavb ima velik vpliv na osončenost fasad. Razlike v količini prejetega sončnega sevanja med tipologijami so močno odvisne od orientacije modelov (slika 30).



**Slika 30:** Primerjava povprečne prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela vseh tipologij večstanovanjskih zazidav s FZ = 30 % pri orientaciji daljših stranic stavbe v smereh (a) sever–jug in (b) vzhod–zahod v času ogrevalne sezone. Vir: lasten.

**Figure 30:** A comparison of the average amount of solar energy received per unit area of the central building facade during the heating season for all typologies with 30% site coverage and the orientation of the longer sides of the building to (a) north and south and (b) east and west. Source: author.



Načeloma velja, da je količina v času ogrevalne sezone prejetega sončnega sevanja na fasadi stavbe večja, ko so pri enakem FZ, FI, legi in orientaciji stranic odmiki med stavbami večji, torej takrat, ko je tudi tlorisna površina stavb večja. To med drugim prikaže slika 30, kjer so pri obeh predstavljenih orientacijah vseh tipologij z vzporednimi postavitvami in FZ = 30 % vrednosti količine prejetega sevanja pri tipologijah globokega stolpiča, S<sub>g</sub>3A, in koridorskega bloka, K3A, najvišje, pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom, K<sub>z</sub>3A pa najnižje.

Razlika v količini prejete sončne energije med tipologijami z enakim FZ se z višanjem FI veča (slika 30). Pri orientaciji daljših stranic stavbe proti severu in jugu največja razlika med količinami sevanja pri posameznih tipologijah pri FI = 0,9 znaša 21,3 kWh/m<sup>2</sup>, torej 7,7 %, pri FI = 3,2 pa 41,3 kWh/m<sup>2</sup>, torej 18,3 %. Pri orientaciji daljših stranic proti vzhodu in zahodu razlika pri FI = 0,9 znaša 23,5 kWh/m<sup>2</sup>, torej 8,8 %, in pri FI = 3,2 36,5 kWh/m<sup>2</sup>, torej 17,0 %. Potek trendnih linij, ki povezujejo vrednosti količin sončnega sevanja pri obeh orientacijah pokaže, da so pri orientaciji daljših stranic stavbe proti vzhodu in zahodu vrednosti primerjalno višje pri tipologijah točkovnega vzorca zidave, medtem ko so predvsem pri nižjih FI in orientaciji daljših stranic proti severu in jugu višje vrednosti prejetega sončnega sevanja na fasadah stavb tipologij linijskega vzorca zidave.

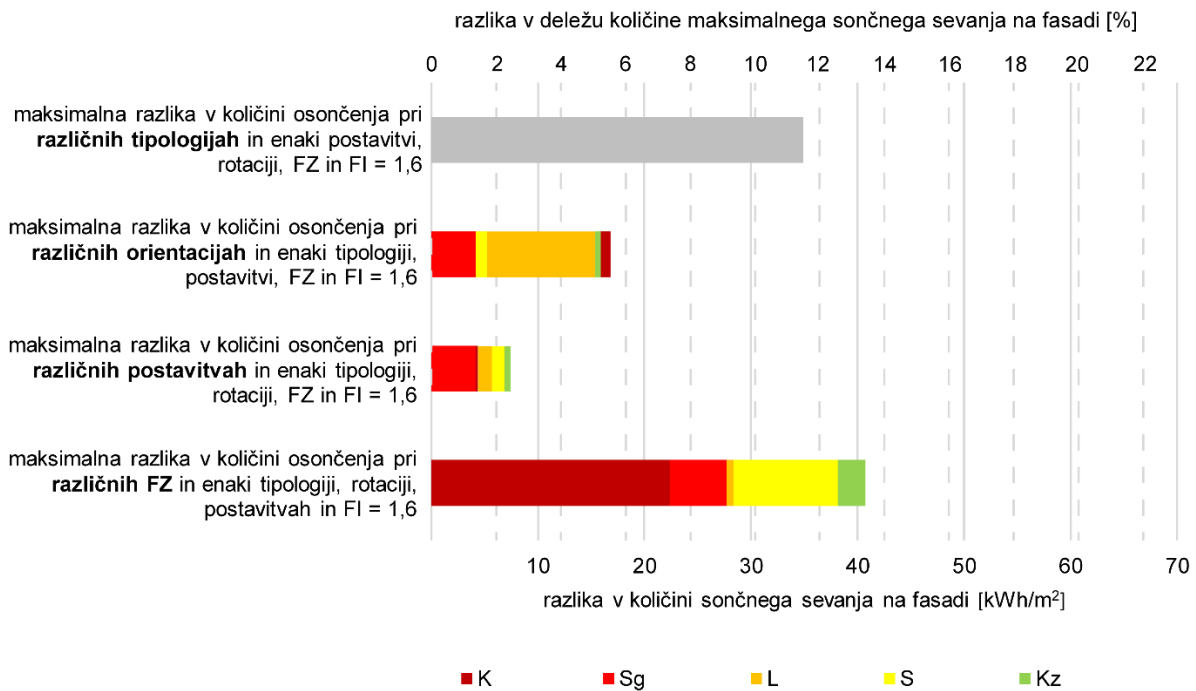
Največja razlika v količini prejetega sončnega sevanja med stavbami različnih tipologij pri enakih FI, FZ, orientaciji in legi je med najgostejšima zazidavama koridorskih blokov z zunanjim in notranjim hodnikom, z daljšima stranicama orientiranima proti severu in jugu in z zamikom lege stavb ob krajši stranici.

#### **5.1.1.6 Primerjava vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na prejeto količino sončnega sevanja na fasadi stavbe**

Medsebojna primerjava vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na prejeto količino sončnega sevanja na fasadah osrednje stavbe modelov je možna ob določitvi fiksne vrednosti enega od kazalcev. Tako smo določili maksimalni vpliv FZ, orientacije, postavitve in tipologije pri FI = 1,6; ki je najvišji faktor izrabe zemljišča skupen vsem scenarijem (slika 31). Razliko med količinama prejetega sončnega sevanja pri spremembi enega od raziskovanih kazalcev smo predstavili tako v kWh/m<sup>2</sup> kot v deležu maksimalne količine prejete sončne energije na enoto površine fasade v času ogrevalne sezone, ki znaša pri neosenčenem koridorskem bloku z zunanjim hodnikom in osmimi etažami ter orientacijo ene od daljših stranic stavbe proti jugu 303,1 kWh/m<sup>2</sup>.

Kot prikazuje slika 31, ima pri enakih drugih kazalcih največji vpliv FZ. Razlika med količinama prejetega sončnega sevanja na fasadi pri FZ = 20 % in FZ = 50 % je največja pri tipologiji z najmanjšimi odmiki med objekti. To je koridorski blok z zunanjim hodnikom, K<sub>z</sub>B 60°, pri rotaciji vektorja severa za 60° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic stavbe proti vzhodu in zahodu ter z lego stavb z zamikom vzdolž daljše stranice stavb, kjer je razlika 40,7 kWh/m<sup>2</sup>, torej 13,4 %. Sledijo stolpič SA 90°, lamelni blok LB 60°, globoki stolpič S<sub>g</sub>B in koridorski blok KB 60°. Iz navedenega vrstnega

reda lahko sklepamo, da je vpliv FZ na količino prejete sončne energije večji pri tipologijah z manjšimi tlorisnimi gabariti in manjšimi odmiki med stavbami.



**Slika 31:** Prikaz vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na povprečno količino prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modela vseh tipologij večstanovanjskih zgradav. Vir: lasten.

**Figure 31:** A presentation of the impact of individual urban indicators on the average amount of solar energy received per unit area of the central building facade of the model for all examined residential typologies. Source: author

Vpliv izbrane tipologije na povprečno količino prejetega sončnega sevanja je na drugem mestu. Pri orientaciji daljših stranic stavb proti vzhodu in zahodu in enakih drugih kazalcih je razlika v količini prejetega sončnega sevanja na fasadi osrednje stavbe modelov največja med tipologijama globokih stolpičev in koridorskih blokov z zamikom po krajši stranici,  $S_gC$  in  $K_zC$ , pri  $FZ = 50\%$ , in sicer znaša  $34,9 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $11,5\%$ . Skoraj enaka,  $34,8 \text{ kWh/m}^2$  oz.  $11,5\%$ , je pri nespremenjenih ostalih kazalcih razlika med sončnimi pritoki na fasadah stavb tipologij koridorskega bloka in koridorskega bloka z zunanjim hodnikom s  $FZ = 50\%$  in zamikom po krajši stranici, pri rotaciji vektorja severa za  $60^\circ$  v smeri urnega kazalca od orientacije stranic stavbe proti vzhodu in zahodu,  $K4C$  in  $K_z4C$   $60^\circ$ . Primerjava razlik vpliva posamičnih tipologij na količino prejetega sončnega sevanja ponovno privede do zaključka, da so razlike večje pri tipologijah z manjšimi tlorisnimi površinami stavb in manjšimi odmiki med njimi. Razlika je odvisna tudi od orientacije daljših stranic stavbe glede na smer neba: pri orientaciji daljših stranic proti vzhodu in zahodu je večja med točkovnim in linijskim vzorcem zidave, ko je povprečna količina sončnih pritokov na fasadah stavb tipologij točkovnega vzorca zidave primerjalno višja, medtem ko se pri orientacijah daljše stranice stavb proti jugu poveča razlika med posameznimi tipologijami linijskega vzorca zidave.

Orientacija daljše stranice stavbe glede na smer neba ima na količino prejetega sončnega sevanja manjši vpliv, kot ga imata FZ in tipologija stavb. Pri enakih drugih kazalcih je največja razlika med količino pritokov pri rotaciji vektorja severa za  $90^\circ$  v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic stavbe proti vzhodu in zahodu, torej pri orientaciji daljših stranic proti severu in jugu, in rotaciji vektorja severa za  $150^\circ$ , torej pri orientaciji daljših stranic na zahod–severozahod in vzhod–jugovzhod. Ta pri najvišjem  $FZ = 50\%$  tipologije koridorskega bloka K2A znaša  $16,8 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $5,5\%$ . Sledita ji preostali tipologiji linijskega vzorca zidave; koridorski blok z zunanjim hodnikom K<sub>z</sub>2B s  $15,9 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $5,2\%$ , in lamelni blok L2B s  $15,4 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $5,1\%$ . Zaradi manjše razlike med dolžinama stranic stavbe so razlike v vrednostih sončnih pritokov na fasadi pri točkovnem vzorcu zidave nižje. Te pri stolpičih, konkretno pri S4B, znašajo  $5,2 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $1,7\%$ , pri globokih stolpičih pa  $4,2 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $1,4\%$ .

Najmanjši vpliv na prejeta količina sončnega sevanja ima med proučevanimi urbanističnimi kazalci lega stavb oz. zamik lege. Ob nespremenjenih drugih kazalcih je največja razlika v količini prejete sončne energije med vzporedno lego stavb in lego z zamikom ob vzdolžni stranici pri koridorskem bloku z zunanjim hodnikom, K<sub>z</sub>3  $60^\circ$ , in sicer znaša  $7,4 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $2,5\%$ . Sledijo stolpič S4  $60^\circ$  s  $6,8 \text{ kWh/m}^2$  oz.  $2,2\%$ , lamelni blok L3  $60^\circ$  s  $5,6 \text{ kWh/m}^2$  oz.  $1,9\%$ , koridorski blok K3  $30^\circ$  s  $4,4 \text{ kWh/m}^2$  oz.  $1,4\%$  in globoki stolpič Sg4  $30^\circ$  s  $4,2 \text{ kWh/m}^2$  oz.  $1,4\%$ . Vrstni red vpliva zamika na količino prejete sončne energije po tipologijah kaže na to, da je ta večji pri tipologijah z manjšimi tlorisnimi površinami stavb in manjšimi odzmmiki med njimi.

### **5.1.2 Mejne vrednosti prejetega sončnega sevanja in primerjava s količino na fasadi prejetega sončnega sevanja v kontekstu okoliške zidave**

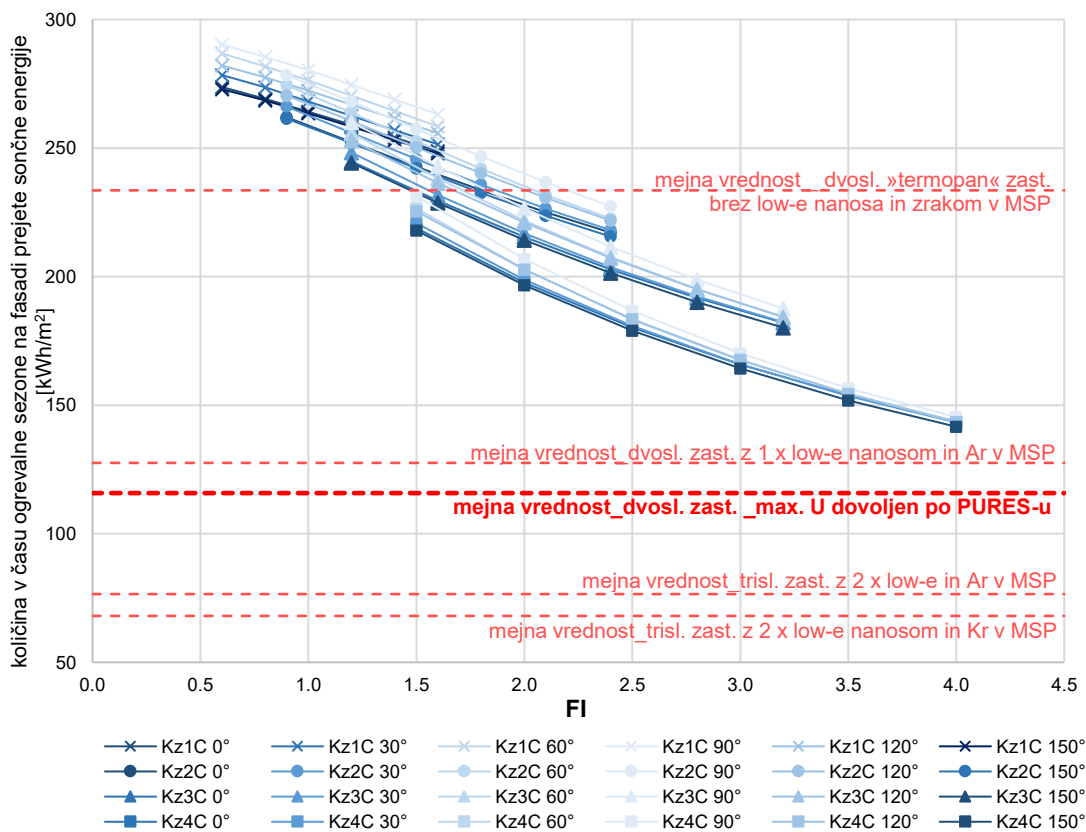
Z metodo, opisano v poglavju 4.6.2, smo določili minimalno količino sončne energije na enoto površine, prejete skozi zastekljeno odprtino v času ogrevalne sezone, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi zasteklitve. Z izračunom smo določili minimalno količino prejemkov pri najvišji s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010) dovoljeni toplotni prehodnosti okna. Da bi raziskali vpliv tipa zasteklitve na minimalno vrednost pritokov, ki še nadomestijo toplotne izgube skozi zasteklitve, smo dodali izračune za izbrane različne tipe zasteklitvev (preglednica 12).

Povprečna količina sončne energije, prejete na fasadi osrednje stavbe modelov stanovanjskih zazidav, v vseh 2160 preverjenih scenarijih presega mejno vrednost  $115,83 \text{ kWh/m}^2$  (slika 32). Kljub temu, da zato ni mogoče določiti mejnih vrednosti FI in FZ, ki bi še omogočali solarne dobitke, ki bi nadomestili izgube skozi zasteklitve, analiza vpliva posamičnih kazalcev iz prejšnjega poglavja omogoča oblikovanje priporočil za optimalno osončenost stavb v kontekstu okoliške zidave.

**Preglednica 12:** Minimalne vrednosti v ogrevalni sezoni prejetega sončnega sevanja, ki nadomestijo toplotne izgube pri različnih tipih zasteklitve. Vira sevalno fizikalnih lastnosti zasteklitve: Reflex d.o.o., 2020 in Hajdinjak, 2009.

**Table 12:** Double glazing characteristics: thermal, total solar energy and light transmittance. Sources: Reflex d.o.o., 2020 and Hajdinjak, 2009.

sestava zasteklitve	toplotna prehodnost (U) [W/m <sup>2</sup> K]	prepustnost sončnega sevanja (g) [%]	min. količina prejete sončne energije v ogrevalni sezoni [kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>dvoslojna (max. U dovoljen po PURES-u)</b>	<b>1,1</b>	<b>63</b>	<b>115,83</b>
dvoslojna »termopan« brez nizkoemisijskih nanosov in zrakom v medstekelnem prostoru	2,5	71	233,58
dvoslojna z 1 x nizkoemisijskim nanosom in argonom v medstekelnem prostoru	1,0	52	127,58
trisoljna z 2 x nizkoemisijskim nanosom in argonom v medstekelnem prostoru	0,6	52	76,54
trisoljna z 2 x nizkoemisijskim nanosom in kriptonom v medstekelnem prostoru	0,4	39	68,04



**Slika 32:** Primerjava mejne vrednosti prejetega sončnega sevanja v času ogrevalne sezone s povprečno količino prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade osrednje stavbe modelov, ki dosegajo najnižje količine prejete sončne energije, koridorskih blokov z zunanjim hodnikom in zamikom po krajši stranici stavb.<sup>10</sup> Vir: lasten.

**Figure 32:** A comparison of the minimum required amount of solar energy during the heating season with the average amount of solar energy received per unit area of the central building facade of models that achieve the lowest amounts of solar energy received, linear blocks with shared external horizontal access and a shift in the layout along the shorter side of buildings. Source: author.

<sup>10</sup> Razlaga okrajšav na sliki:

low-e nanos – nizkoemisijski nanos

MSP – medstekelni prostor

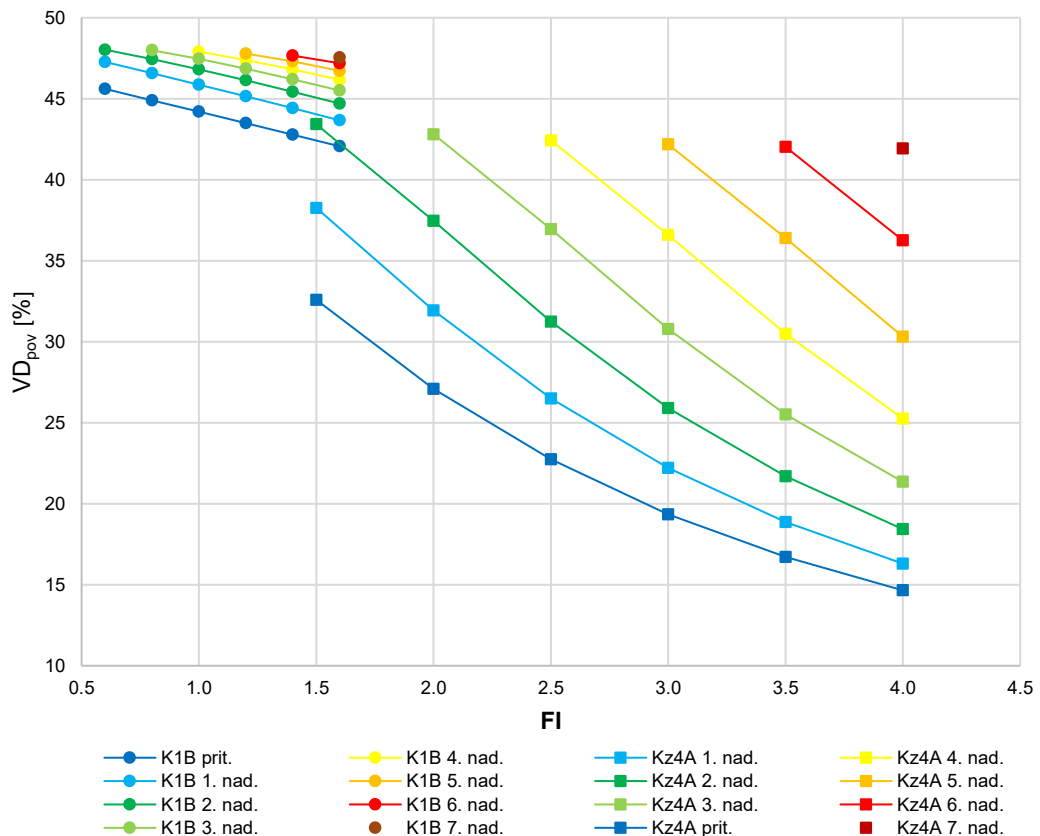
Ar – argon

Kr – kripton

## 5.2 Vpliv urbanističnih kazalcev na osvetljenost fasad

### 5.2.1 Korelacija med osvetljenostjo fasade in urbanističnimi kazalci

Pregled vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadah osrednje stavbe modelov večstanovanjskih stavb pri petih različnih večstanovanjskih tipologijah, štirih različnih FZ, šestih različnih višinah stavb in treh različnih legah stavb po nadstropjih kaže pričakovano povečanje vrednosti  $VD_{pov}$  glede na vertikalno pozicijo nadstropja (slika 33).

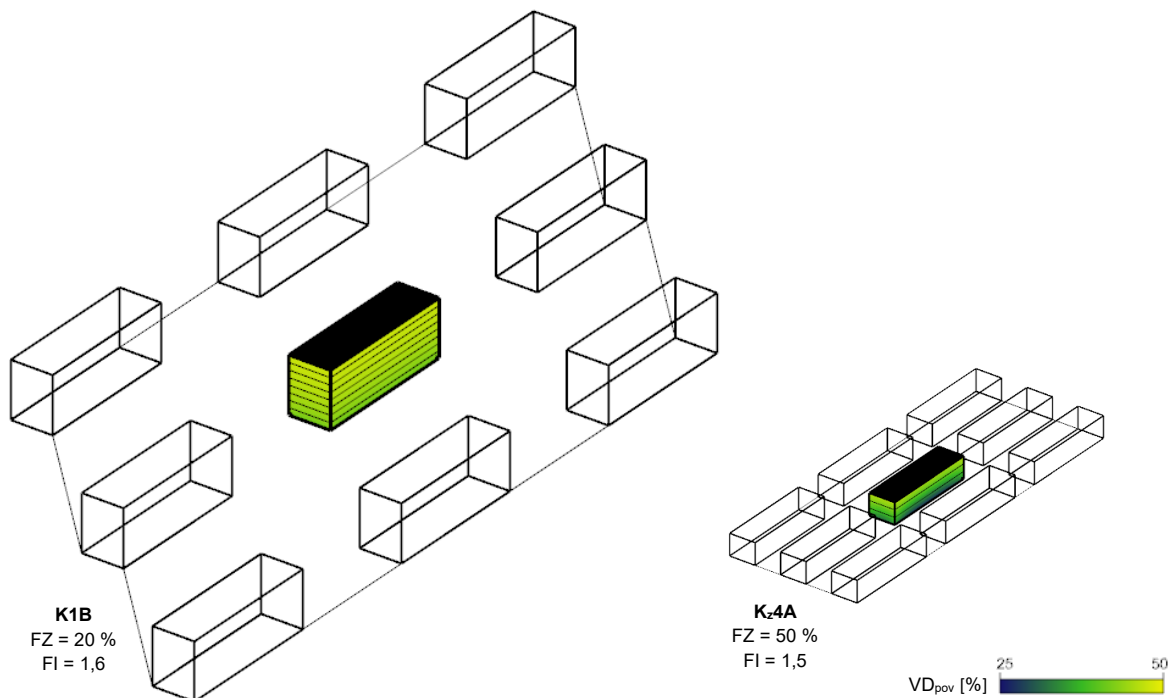


**Slika 33:** Primerjava vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadi različnih nadstropij na primeru dveh skrajnosti: najbolj in najmanj osvetljene osrednje stavbe modelov pri vseh variantah etažnosti: varianti K1B (tj. tipologiji koridorskega bloka s FZ = 20 %, maksimalnim FI = 1,6 in lego z zamikom po daljši stranici) in Kz4A (tj. tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom, s FZ = 0,6, maksimalnim FI = 4,0 in postavitvijo brez zamika). Vir: lasten.

**Figure 33:** A comparison of  $VD_{avg}$  on the facade of different floors in the case of two extremes, the most and least illuminated central model building in all variations of building heights: variation K1B (i.e. a block with shared internal horizontal access typology with 20% site coverage, maximum FAR = 1.6 and shift in placement along the longer side of the building) and Kz4A (i.e. a block with shared internal horizontal access typology with 50% site coverage, maximum FAR = 4.0 and no shift in building placement). Source: author.

Splošno velja, da je razlika med  $VD_{pov}$  na fasadi nižjih nadstropij v primerjavi z višjimi večja pri višjih gostotah zazidave; tako višjih FZ kot FI (slika 34). V predstavljenem primeru najmanj osvetljene fasade pri modelu Kz4A z osmimi etažami je  $VD_{pov}$  za 7. nadstropje pri najvišjem FI = 4,0, 2,9-krat višji od  $VD_{pov}$  za pritličje, torej 41,9 % v primerjavi z 14,7 %, medtem ko je razlika med omenjenima etažama

v  $VD_{pov}$  v primeru najbolj osvetljene fasade osrednje stavbe modela K1B z osmimi etažami 1,13-kratna, torej 47,5 % v primerjavi z 42,1 %.



**Slika 34:**  $VD_{pov}$  na fasadi vseh nadstropij osrednje stavbe pri variantah modelov K1B s  $FZ = 20\%$  in Kz4A s  $FZ = 50\%$ . Vidno je, da je razlika med  $VD_{pov}$  na fasadi nižjih nadstropij v primerjavi z višjimi večja pri višjem FZ tudi, ko je FI podoben. Vir: lasten.

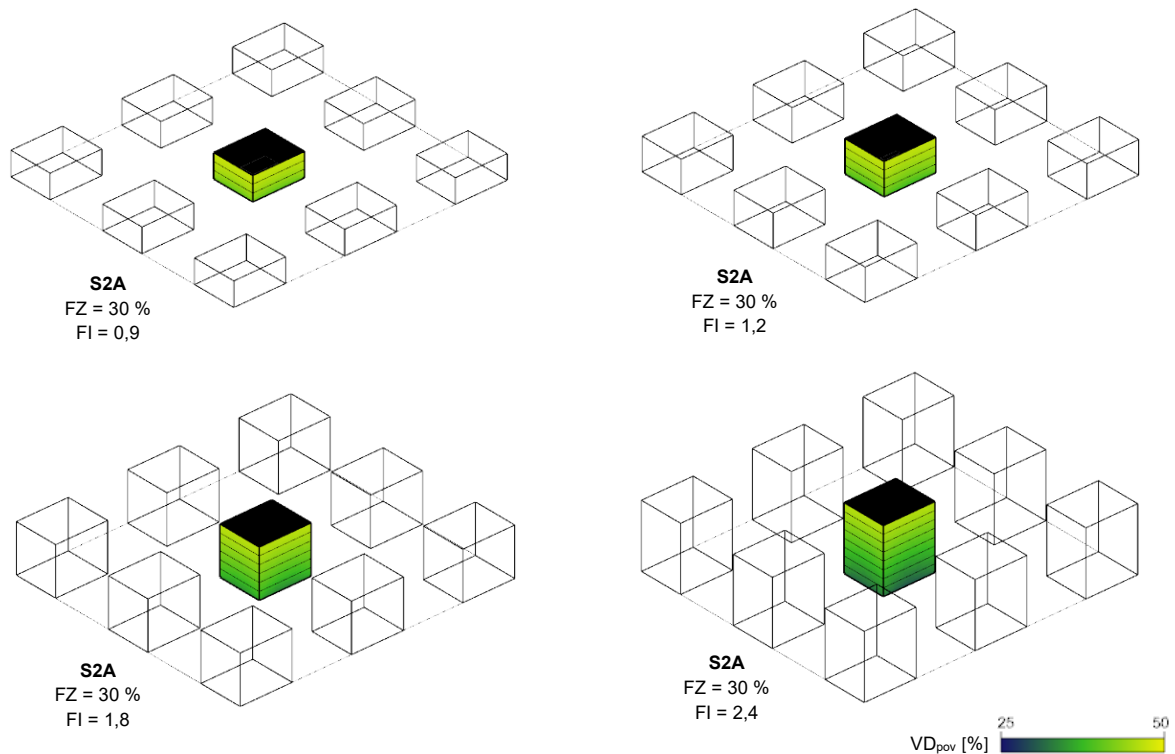
**Figure 34:**  $VD_{avg}$  on the facade of all floors of the central building for the model variations K1B with 20% site coverage and Kz4A with 50% site coverage variants. It is noticeable that difference between the  $VD_{avg}$  on the facade of the lower floors as compared to the higher ones is larger at higher site coverage even when FAR is similar in both cases. Source: author.

Ker morajo biti primerno osvetljena vsa stanovanja, ki so v večstanovanjskih stavbah večkrat umeščena že v pritličje, skoraj vedno pa v prvo nadstropje stavbe, smo nadalje primerjali vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadah pritličja in prvega nadstropja modelov pri različnih tipologijah, FZ, FI in lege stavb. Vrednosti  $VD_{pov}$ , pridobljene z računalniškimi simulacijami, opisanimi v 4. poglavju, so povzete v tabelah v prilogah M–O.

### 5.2.1.1 Vpliv faktorja izrabe na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo

Analiza vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadah pritličij in 1. nadstropij osrednjih stavb modelov vseh tipologij, leg in gostot kaže, da se  $VD_{pov}$  zmanjšuje s povečanjem FI (slika 35). Korelacija med FI in osvetljenostjo fasade je močno negativna – Pearsonov koeficient korelacije sega od -1,00 za variacije z nižjim FZ do 0,98 za variacije z višjim FZ in bolj razdrobljenimi tlorisi, kot sta stolpič in koridorski blok z zunanjim hodnikom. Pričakovano so v primerjavi s fasadami pritličij boljše osvetljene fasade 1. nadstropij stavbe. Med vsemi izračunanimi vrednostmi je najnižji  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja osrednje stavbe vzporedno

postavljenih koridorskih blokov z zunanjim hodnikom,  $FZ = 50\%$  in  $FI = 4$  ter znaša  $14,7\%$ , torej  $31,2\%$  vrednosti  $VD_{pov}$  neosenčene stavbe (priloga L).



**Slika 35:**  $VD_{pov}$  na fasadi osrednje stavbe pri štirih različnih FI modelih stolpičev s  $FZ = 30\%$ . Viden je nižji  $VD_{pov}$  pri višjih FI. Vir: lasten.

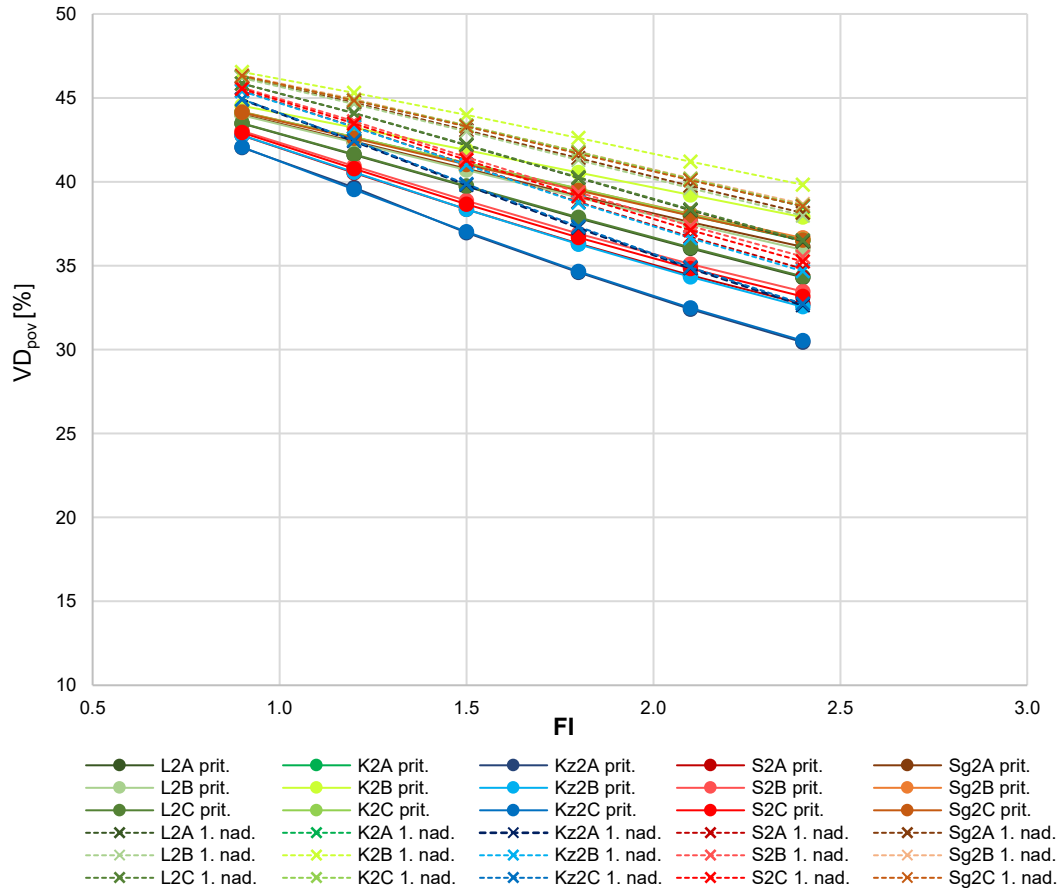
**Figure 35:**  $VD_{avg}$  on the facade of the central building for the models of towers with 30% site coverage. Lower  $VD_{avg}$  at higher FAR is perceptible. Source: author.

Primerjava vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadah pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe pri modelih vseh tipologij in postavitvev ter  $FZ = 30\%$  (slika 36) jasno predstavi vpliv FI na osvetljenost fasad.  $VD_{pov}$  je pri vseh vrednostih FI najnižji na pritličnih fasadah koridorskega bloka z zunanjim hodnikom pri vzporedni postavitvi stavb; prav tako se ta z višanjem FI pri tej tipologiji in postavitvi niža najhitreje. Tako  $VD_{pov}$  pri  $FI = 0,9$  znaša  $42,0\%$ , kar je  $92,2\%$  vrednosti  $VD_{pov}$  neosenčene fasade, medtem ko  $VD_{pov}$  pri  $FI = 2,4$  znaša  $30,4\%$ , torej  $65,4\%$  vrednosti  $VD_{pov}$  neosenčene fasade. Razlika med vrednostma znaša  $12,5$  odstotne točke, kar je  $26,9\%$  vrednosti  $VD_{pov}$  neosenčene fasade. Kljub višjim vrednostim  $VD_{pov}$  na fasadi prvega nadstropja stavb iste tipologije z enako postavitvijo je relativna razlika pri enakem zvišanju FI zelo podobna –  $12,2$  odstotne točke oz.  $26,2\%$  vrednosti  $VD_{pov}$  neosenčene fasade, kar je razvidno iz skoraj vzporednega poteka obeh linij nizov podatkov na sliki 36. Podobnost v poteku linij nizov podatkov za pritličje in 1. nadstropje je vidna za vse preostale tipologije, kar pomeni, da je vpliv višanja FI na  $VD_{pov}$  v obeh etažah zelo podoben pri vseh tipologijah in legah stavb.

V vrstnem redu od najnižje do najvišje vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja osrednje stavbe pri  $FZ = 30\%$  in  $FI = 2,4$  koridorskemu bloku z zunanjim hodnikom z  $32,6\%$  sledijo stolpič s  $33,5\%$ , lamelni blok s  $35,9\%$ , globoki stolpič s  $36,7\%$  in koridorski blok s  $37,9\%$ . Razlika med  $VD_{pov}$  pri  $FI = 0,9$  in  $FI = 2,4$

je najmanjša pri tipologiji koridorskega bloka, 4,9 odstotne točke, in največja pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom, 10,2 odstotne točke.

Iz analize sledi, da je vpliv FI ob nespremenjenih drugih kazalcih večji pri višjih FZ ter pri tipologijah z manjšimi tlorisi in manjšimi odmiki med stavbami.



**Slika 36:**  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe modelov različnih tipologij in postavitve modelov s FZ = 30 %. Pri vseh variantah je vidna negativna korelacija med FI in  $VD_{pov}$ . Vir: lasten.

**Figure 36:**  $VD_{avg}$  on the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> floor facade of the central building for models of all typologies and placements of buildings with 30% site coverage. All variations show a negative correlation between FAR and  $VD_{avg}$ . Source: author.

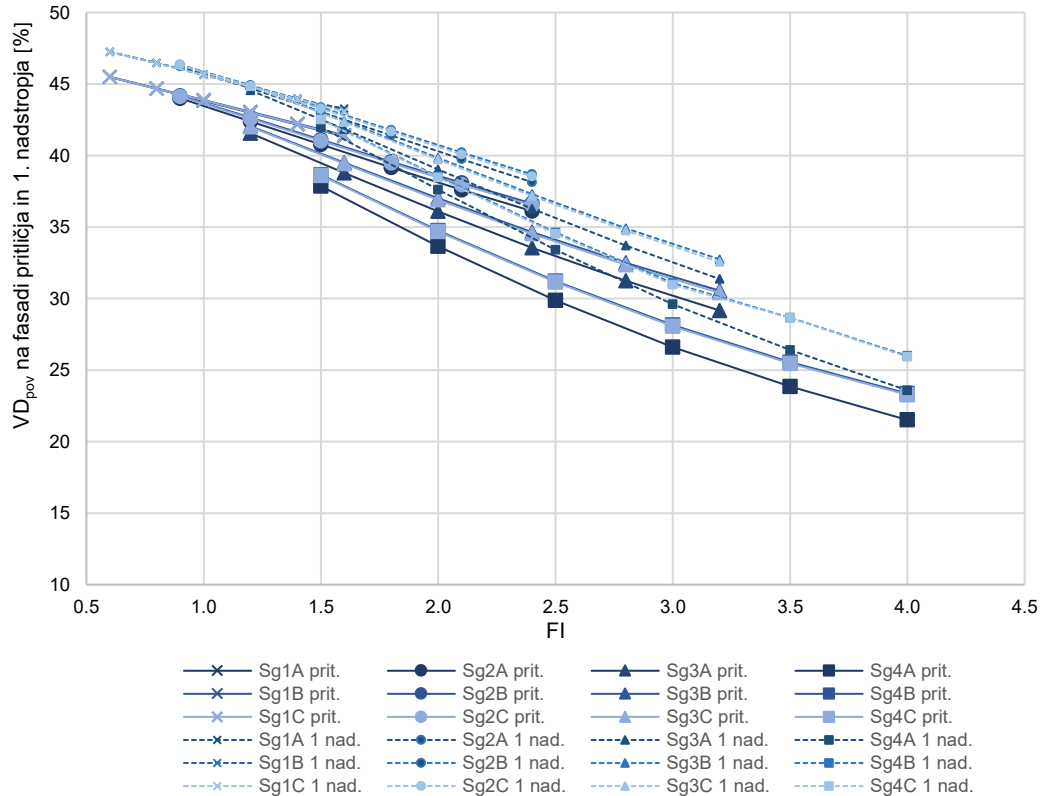
### 5.2.1.2 Vpliv faktorja zazidanosti na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo

Pri enakem FI, tipologiji in legi stavb FZ bistveno vpliva na vrednost doseženega  $VD_{pov}$  na fasadah pritličij in prvih nadstropij osrednje stavbe.  $VD_{pov}$  je pri nižjih FZ vedno višji. Slika 37 prikazuje  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe modelov globokih stolpičev različnih postavitve in FZ. Pri FI = 1,2 in vzporedni postavitvi stavb tako  $VD_{pov}$  pri FZ = 20 % znaša 43,8 %, pri FZ = 30 %, 42,4 % in pri FZ = 40 %, 41,6 %.

Pri višjih FI se razlike v  $VD_{pov}$  med različnimi FZ modeli povečajo. Tako je pri vzporedni legi stavb pri FI = 1,2 razlika med  $VD_{pov}$  pri FZ = 20 % in FZ = 40 %, torej pri spremembi FZ za 20 %, 1,4 odstotne



točke, medtem ko je pri enaki spremembi FZ iz 30 % na 50 % razlika med FI bistveno večja in znaša 2,9 odstotne točke.



**Slika 37:**  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe modelov globokih stolpičev različnih FI, postavitev in FZ. Iz grafa je razvidno, da je pri enakem FI  $VD_{pov}$  višji pri nižjem FZ. Vir: lasten.

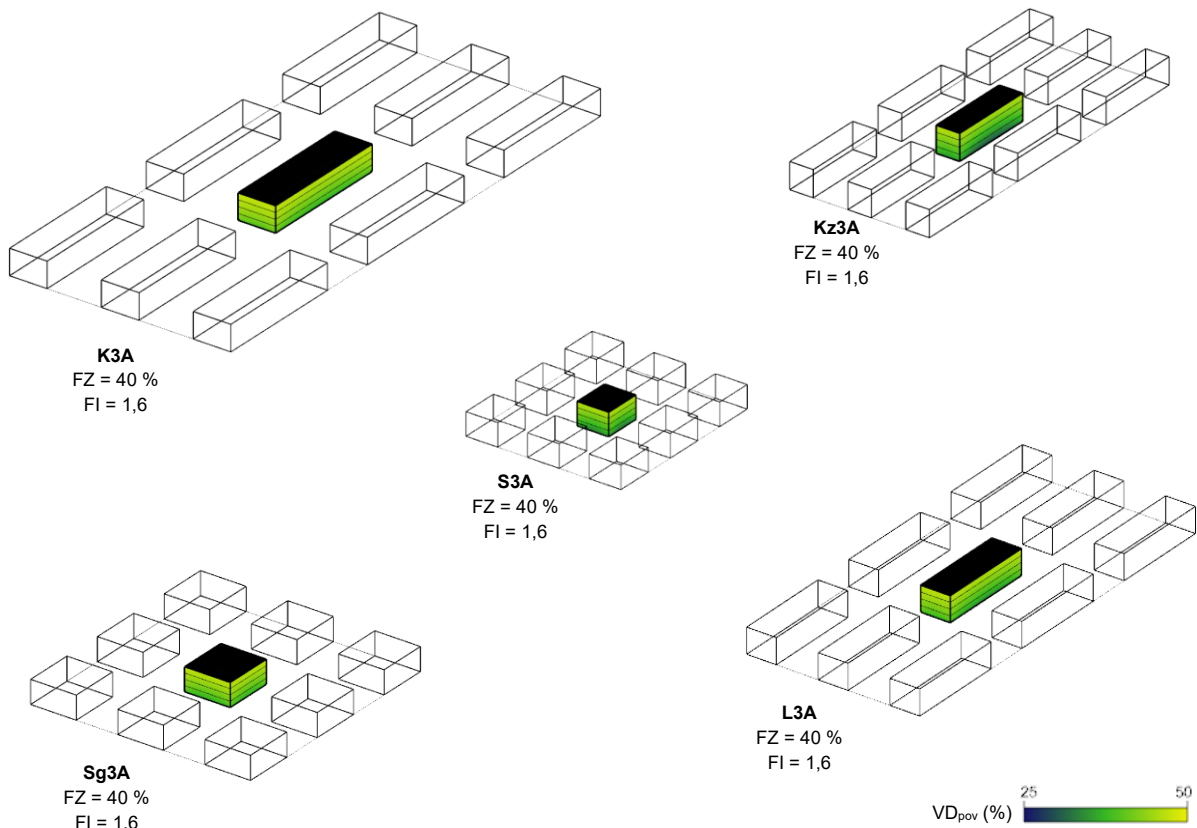
**Figure 37:**  $VD_{avg}$  on the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> floor facade of the central building for models of deep towers for all FAR, site coverage values and placements of buildings. Graph distinctly shows higher  $VD_{avg}$  values for lower site coverage values at the same FAR. Source: author.

### 5.2.1.3 Vpliv tipologije stavbe na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo

Tipologija stavb ima na osvetljenost fasad velik vpliv. Tako kot za prejeto količino sončnega sevanja velja, da je  $VD_{pov}$  na fasadi stavbe večji, ko so pri enakem FZ, FI, in legi odmiki med stavbami in njihova tlorisna površina večji (slika 38). Razlika je največja v osvetljenosti fasad koridorskih blokov in koridorskih blokov z zunanjim hodnikom.

Kot je razvidno iz slike 39, ki prikazuje primerjavo vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadah pritličja osrednje stavbe modelov vseh tipologij, FZ in FI pri vzporedni legi stavb, se razlika v osvetljenosti fasad posamičnih tipologij z višanjem FI veča. Pri FZ = 40 % in FI = 1,2 znaša  $VD_{pov}$  na fasadi koridorskih blokov z zunanjim hodnikom 38,3 %, stolpičev 39,6 %, lamelnih blokov 40,8 %, globokih stolpičev 41,6 % in koridorskih blokov 42,1 %, pri čemer je največja razlika  $VD_{pov}$  med posamičnimi tipologijami 3,8 odstotne točke. Pri enakem FZ in FI = 3,2 je  $VD_{pov}$  na fasadi koridorskih blokov z zunanjim

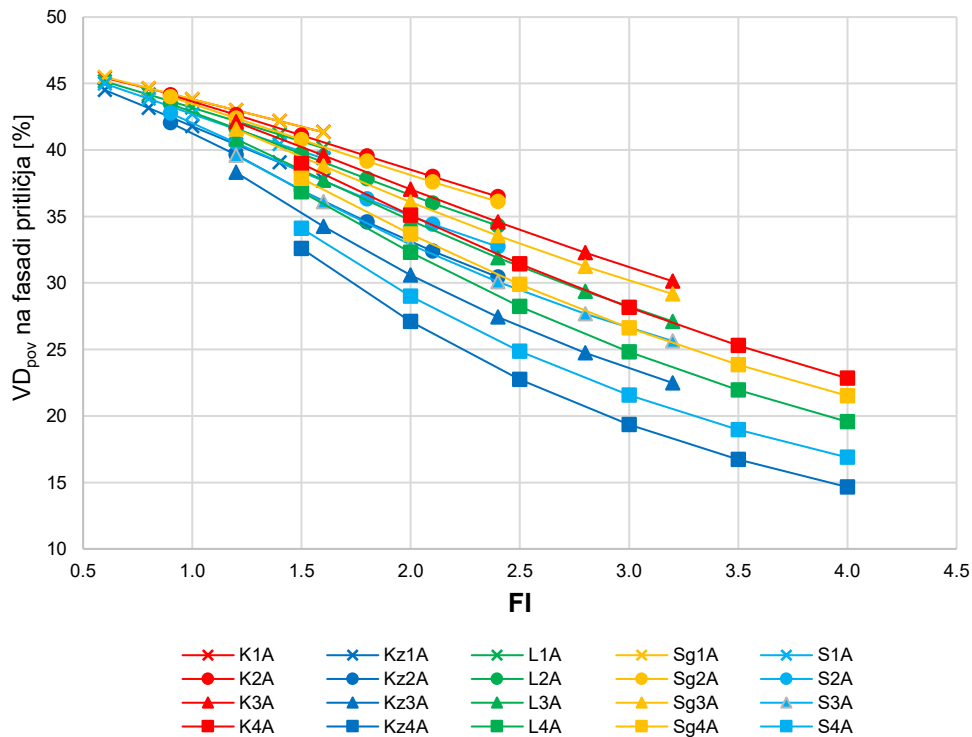
hodnikom 22,5 %, stolpičev 25,6 %, lamelnih blokov 27,1 %, globokih stolpičev 29,1 % in koridorskih blokov 30,1 %. Največja razlika v vrednostih  $VD_{pov}$  med posamičnimi tipologijami pri  $FI = 3,2$  je 7,6 odstotne točke, kar je natančno dvakrat več kot pri  $FI = 1,2$ .



**Slika 38:** Vpliv tipologije objektov na osvetljenost fasad pritličij in prvih nadstropij. Pri enakem FZ, FI in postavitvi je viden manjši  $VD_{ov}$  na fasadah koridorskih blokov z zunanjim hodnikom in na fasadah stolpičev v primerjavi z  $VD_{pov}$  na fasadah koridorskih blokov in globokih stolpičev. Vir: lasten.

**Figure 38:** The influence of the building typology on the amount of daylight on 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> floor facades. With the same site coverage, FAR and placement of buildings, lower  $VD_{avg}$  is notable on the facades of blocks with shared external horizontal access and towers compared to the facades of blocks with shared internal horizontal access and wide towers. Source: author.

Iz slike 39 je prav tako razvidno, da se razlika v višini  $VD_{pov}$  med tipologijami pri enakem FI pri višjih FZ večja. Pri  $FI = 2$  in  $FZ = 40$  % je  $VD_{pov}$  na fasadi koridorskih blokov z zunanjim hodnikom 30,6 %, stolpičev 32,9 %, lamelnih blokov 34,7 %, globokih stolpičev 36,1 % in koridorskih blokov 37,1 %, ob čemer je največja razlika med  $VD_{pov}$  različnih tipologij 6,5 odstotne točke. Pri enakem FI in  $FZ = 50$  % je  $VD_{pov}$  koridorskih blokov z zunanjim hodnikom 27,1 %, stolpičev 29,0 %, lamelnih blokov 32,3 %, globokih stolpičev 33,7 % in koridorskih blokov 35,1 %, ob čemer je največja razlika med  $VD_{pov}$  različnih tipologij 8,0 odstotne točke.



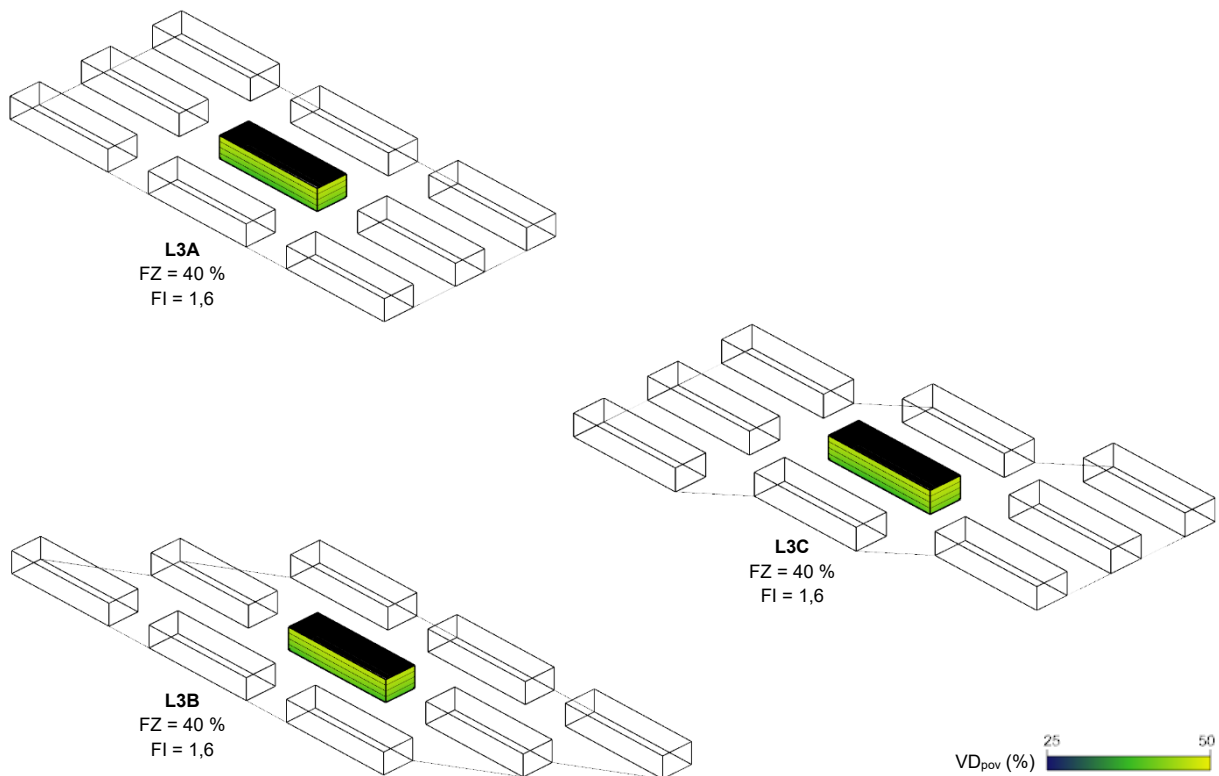
**Slika 39:** Primerjava vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadah pritličja osrednje stavbe modelov vseh tipologij, FZ in FI pri vzporedni postavitvi objektov. Vidna je razlika v vrednostih med posameznimi tipologijami, ki se veča z višanjem FZ in FI. Vir: lasten.

**Figure 39:** A comparison of  $VD_{avg}$  values on the ground floor facades of the central model building for all typologies, site coverage and FAR values and parallel placement of buildings. There is a considerable difference in values for different typologies, which increases with the increase of site coverage and FAR. Source: author.

#### 5.2.1.4 Vpliv zamika stavb na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja stavbe z dnevno svetlobo

Zamik stavb modelov poveča količino svetlobe na fasadi osrednje stavbe (slika 40). Razlika med osvetljenostjo fasad stavb pri postavitvah z zamikom po daljši in krajši stranici je manj opazna pri točkovnem vzorcu zazidave, kjer so si vrednosti  $VD_{pov}$  pri zamikih v obe strani bližje zaradi skoraj kvadratnih tlorisov. Zaradi večjega razmerja dolžin stranic je vpliv zamika ob daljši stranici stavbe opaznejši pri linijskih tipologijah (priloge M–O).

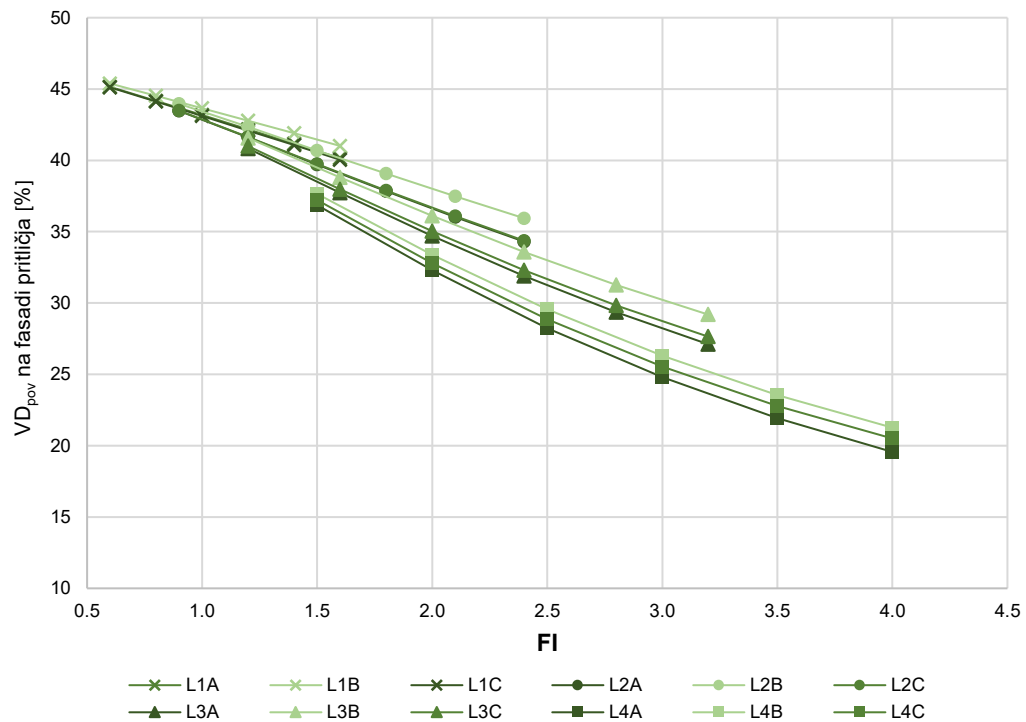
Podobno kot FZ ima zamik stavb večji vpliv pri tipologijah, pri katerih je tlorisna površina stavb manjša in so stavbe bližje skupaj, kar pomeni, da je največja razlika med  $VD_{pov}$  med legami stavb brez zamika in tistimi z zamikom po vzdolžni stranici pri tipologijah stolpiča in koridorskega bloka z zunanjim hodnikom.



**Slika 40:** Vpliv zamika na osvetljenost fasadnega ovoja stavbe na primeru modelov lamelnih blokov z enakima FZ in FI. VD<sub>pov</sub> je najmanjši pri vzporedni postavitvi objektov in največji pri zamiku v smeri daljše stranice. Vir: lasten.

**Figure 40:** The impact of a shift in placement of buildings on the amount of daylight on the building facade in blocks with shared vertical access with equal site coverage and FAR. VD<sub>avg</sub> is lowest when building placement is parallel and highest when it is shifted along the longer side of the buildings. Source: author.

Če sta tipologija stavb in FZ enaka, se razlika med VD<sub>pov</sub> na fasadah različnih leg stavb večja z višanjem FI. Pri tipologiji lamelnega bloka (slika 41) in FZ 40 % znaša VD<sub>pov</sub> pri FI = 1,2, torej treh etažah, in vzporedni postavitvi stavb 40,8 %, pri zamiku po krajši stranici 41,1 % in pri postavitvi z zamikom po daljši stranici 41,6 %. To pomeni, da znaša največja razlika med VD<sub>pov</sub> na fasadah modelov z vzporedno lego stavb in lego z zamikom ob daljši stranici 0,8 odstotne točke. Pri enakem FZ in FI = 3,2, torej pri osmih etažah, znaša VD<sub>pov</sub> pri vzporedni postavitvi stavb 27,1 %, pri zamiku ob krajši stranici 27,6 % in pri zamiku ob daljši stranici 29,2 %. To pomeni, da je največja razlika med vrednostma VD<sub>pov</sub> pri vzporedni legi in legi z zamikom ob daljši stranici 2,1 odstotne točke, kar je 2,6-krat več kot pri nižjem FI = 1,2.



**Slika 41:**  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja osrednje stavbe modelov lamelnih blokov pri vseh postavitvah, FZ in FI. Primerjava pokaže na večji vpliv zamika po daljši stranici na osvetljenost fasade. Vir: lasten.

**Figure 41:**  $VD_{avg}$  for all placements, site coverage ratios and FAR of models of blocks with shared vertical access. The comparison shows a greater influence of the direction of displacement along the longer side of the building on the amount of daylight on the facade. Source: author.

### 5.2.1.5 Primerjava vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na osvetljenost fasade pritličja in 1. nadstropja večstanovanjskih stavb z dnevno svetlobo

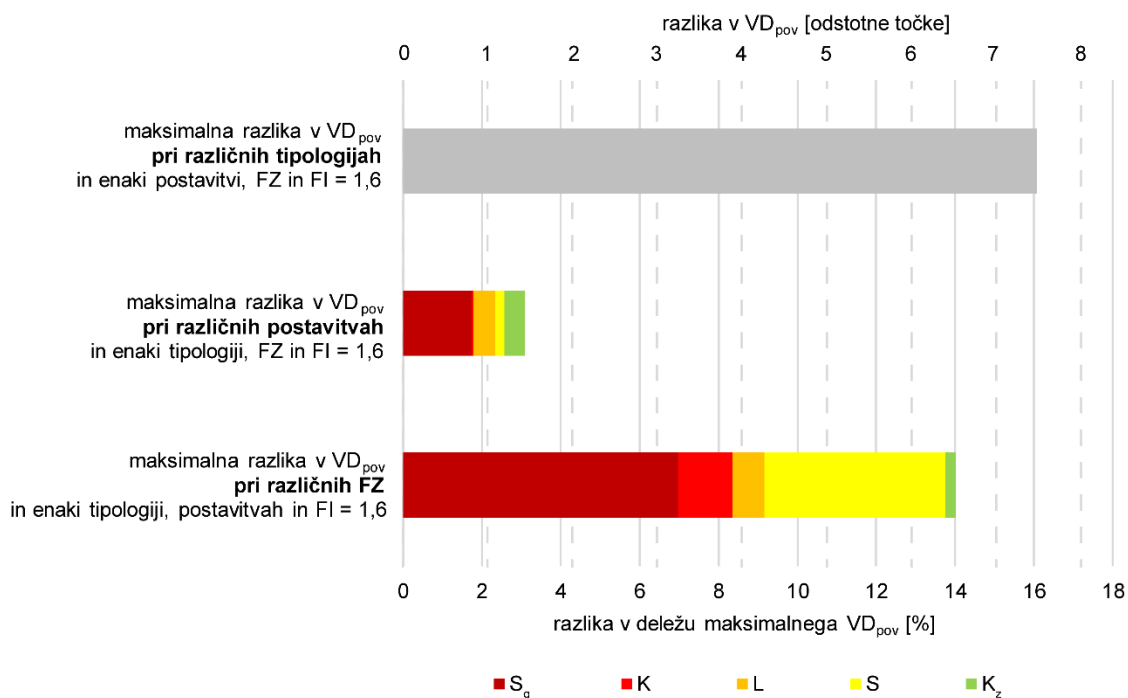
Kot pri primerjavi vpliva urbanističnih kazalcev na prejeto količino sončnega sevanja smo tudi pri primerjavi vpliva na osvetljenost fasade določili fiksno vrednost  $FI = 1,6$ , ki je najvišji FZ zemljišča skupen vsem scenarijem, kar je omogočilo primerjavo maksimalnega vpliva FZ, lege in tipologije stavb na doseženi  $VD_{pov}$  na fasadah osrednje stavbe modelov (slika 42). Zaradi večje razumljivosti smo predstavili tako dejansko razliko v doseženi vrednosti  $VD_{pov}$  kot tudi delež vpliva posamičnih kazalcev glede na maksimalno vrednost  $VD_{pov}$  fasade neosenčenega objekta, ki znaša 46,5 %.

Pri enakih drugih kazalcih ima največji vpliv na osvetljenost fasade tipologija. Razlika med  $VD_{pov}$  je največja med tipologijama koridorskega bloka in koridorskega bloka z zunanjim hodnikom z najvišjim FZ 50 % in dosega 6,8 odstotne točke, torej 14,7 %  $VD_{pov}$  fasade neosenčenega objekta.

Vpliv FZ modelov na razliko v  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja osrednjih stavb je velik. Največji je pri tipologijah z najmanjšimi tlorisnimi dimenzijami in odmiki med objekti, kot sta koridorski blok z zunanjim hodnikom in stolpič. Tako je pri  $FI = 1,6$  razlika med  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja osrednje stavbe modelov tipologije koridorskega bloka z zunanjim hodnikom s FZ = 20 % in FZ = 50 % ter zamikom po vzdolžni stranici stavbe 6,5 odstotne točke, kar je 14 %  $VD_{pov}$  na fasadi neosenčenega objekta, ki mu

sledijo razlika med  $VD_{pov}$  fasad stolpiča 6,4 odstotne točke, torej 13,7 %  $VD_{pov}$  na fasadi neosenčenega objekta, globokega stolpiča 4,4 odstotne točke, torej 9,4 %  $VD_{pov}$  na fasadi neosenčenega objekta, lamelnega bloka 4,3 odstotne točke, torej 9,2 %  $VD_{pov}$  na fasadi neosenčenega objekta in koridorskega bloka 3,3 odstotne točke, torej 7,0 %  $VD_{pov}$  na fasadi neosenčenega objekta.

Na  $VD_{pov}$  na fasadi osrednje stavbe modela ima od vseh raziskanih kazalcev najmanjši vpliv lega oz. zamik vzporedne lege stavb. Največji vpliv na  $VD_{pov}$  ima zamik ob nespremenjenih drugih kazalcih pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom, najmanjšega pa pri tipologiji globokega stolpiča. Tako je razlika med  $VD_{pov}$  na fasadah koridorskih blokov z zunanjim hodnikom z vzporedno postavitvijo in zamikom ob daljši stranici stavbe pri FZ 40 %,  $K_z3$ , 1,4 odstotne točke, torej 3,1 %  $VD_{pov}$  fasade neosenčenega objekta, ki ji sledijo razlika med  $VD_{pov}$  stolpičev, S4, 1,2 odstotne točke, torej 2,6 %  $VD_{pov}$  fasade neosenčenega objekta, lamelnih blokov, L3, 1,1 odstotne točke, torej 2,3 % fasade neosenčenega objekta, koridorskih blokov, K3, 0,9 odstotne točke, torej 1,8 %  $VD_{pov}$  fasade neosenčenega objekta in globokih stolpičev,  $S_g4$ , 0,8 odstotne točke, torej 1,7 %  $VD_{pov}$  fasade neosenčenega objekta.



**Slika 42:** Vpliv posamičnih urbanističnih kazalcev na  $VD_{pov}$  na fasadi osrednje stavbe modelov vseh tipologij večstanovanjskih zgradav. Vir: lasten.

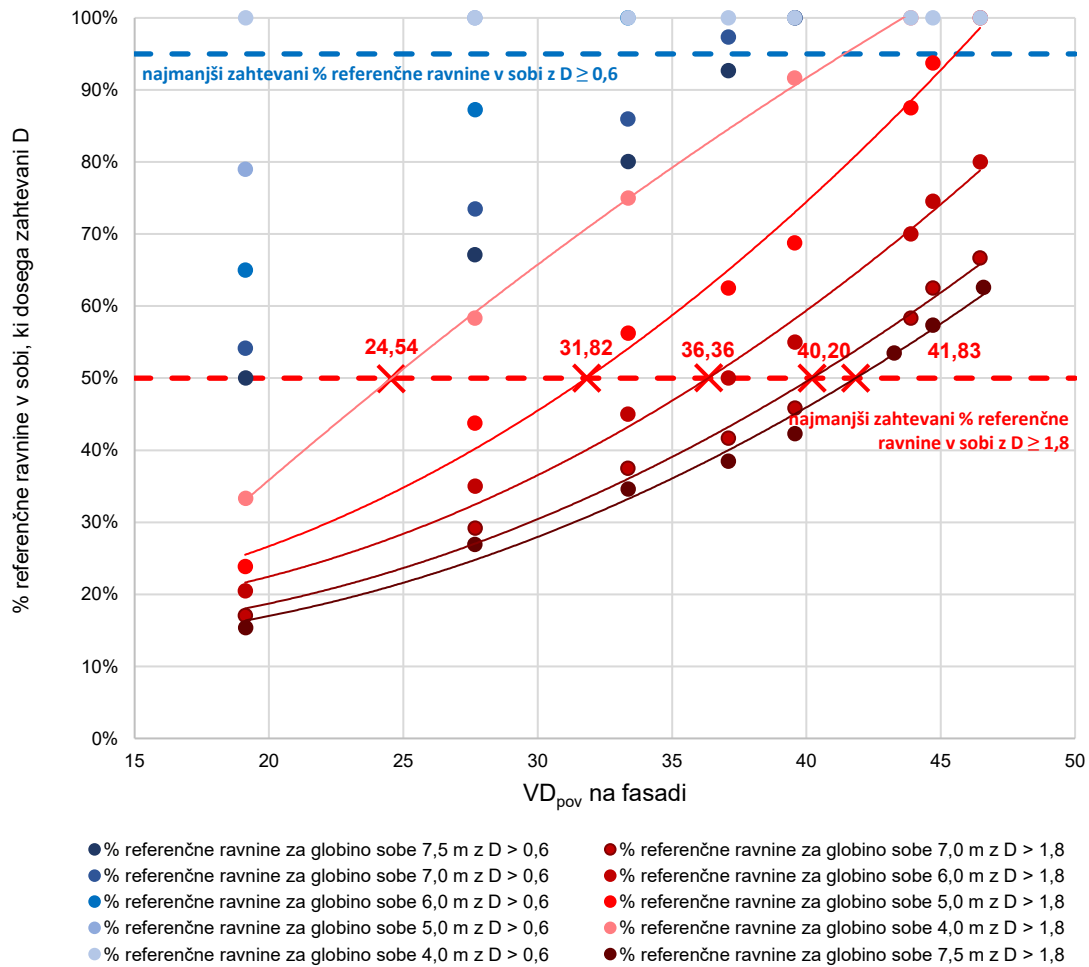
**Figure 42:** The influence of individual urban indicators on  $VD_{avg}$  on the facade of the central building of models of all examined residential typologies. Source: author.

## 5.2.2 Mejne vrednosti osvetljenosti fasade z dnevno svetlobo in primerjava z osvetljenostjo fasad v kontekstu okoliške večstanovanjske zazidave

Mejne vrednosti osvetljenosti fasade smo določili s postopkom, opisanim v poglavju 4.7.2, s katerim smo povezali minimalne vrednosti  $D$  na referenčni ravnini v sobi z vrednostmi  $VD_{pov}$  na fasadi sobe. Rezultati analize zagotavljanja dnevne svetlobe v stanovanjskih prostorih kažejo, da že zelo majhno osenčenje analizirane fasade, do katerega pride zaradi nasproti fasade modela prostora stoječe stavbe, zmanjša količino dnevne svetlobe na referenčni ravnini najglobljega, najnižjega in najožjega enostransko osvetljenega prostora z najmanjšim oknom, ki ga dovoljuje slovenska zakonodaja, do nivoja, ko ta več ne izpolnjuje določil standarda SIST EN 17037. Primerjava izpolnjevanja dveh meril standarda – prvega, pri katerem je prostor primerno osvetljen, če je  $D \geq 1,8 \%$  dosežen na 50 % referenčne ravnine, in drugega, ki zahteva, da je  $D \geq 0,6 \%$  dosežen na 95 % referenčne ravnine v sobi – kaže, da je prvo merilo težje izpolniti (slika 43).

Zaradi navedenega razloga so bile vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadni mreži testne sobe, ki ustrezajo izpolnjevanju kriterija  $D \geq 1,8 \%$  na več kot 50 % notranje referenčne ravnine, postavljene kot mejne vrednosti za nadaljnje proučevanje korelacije med svetlobnim potencialom stavbe in izbranimi urbanističnimi kazalci stanovanjskih zazidav. Mejne vrednosti  $VD_{pov}$  smo izračunali iz enačb, ki opisujejo potek polinomnih trendnih linij z  $R^2 \geq 0,99$ , povezujočih vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadni mreži testne sobe z odstotkom mrežnih točk na referenčni ravnini z  $D \geq 1,8 \%$  pri različnih globinah prostora.

Izračunane mejne vrednosti  $VD_{pov}$  na fasadni mreži testne sobe za 7,5; 7,0; 6,0; 5,0 in 4,0 m globine prostora z ustreznimi deleži površin, namenjenih osvetlitvi, glede na tlorisno površino stavbe 20,0 %; 21,4 %; 25,0 %; 30,0 % in 37,5 % tako znašajo 41,8 %; 40,2 %; 36,4 %; 31,8 % in 24,5 % (slika 42). To konkretno pomeni, da že  $VD_{pov}$  41,82 % na fasadi (10,0 % zmanjšan  $VD_{pov}$  v primerjavi z neosenčeno fasado) povzroči neustrezno dnevno osvetljenost najglobljega, najnižjega in najožjega enostransko osvetljenega prostora z najmanjšim oknom, ki ga dovoljuje slovenska zakonodaja. Z zmanjšanjem globine prostora, v kateri merimo primernost osvetljenosti, se vrednost potrebnega  $VD_{pov}$  ustrezno zmanjša in doseže v primeru globine 4,0 m, 52,82 % vrednosti  $VD_{pov}$  neosenčene fasade, torej 24,54 % v primerjavi s 46,46 % neosenčene fasade.

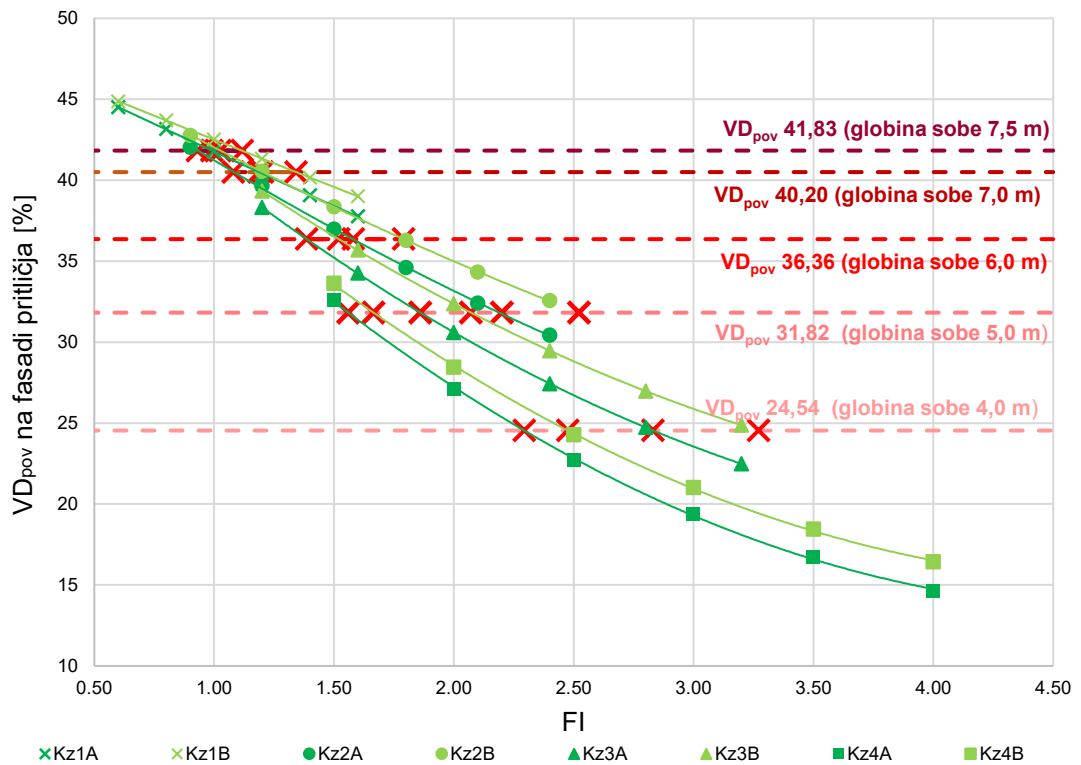


**Slika 43:**  $VD_{pov}$  na fasadi glede na odstotek referenčne ravnine v prostoru z najmanjšim doseženim deležem faktorja dnevne svetlobe ( $D$ ) v skladu s SIST EN 17037. Oznake X označujejo mejne vrednosti  $VD_{pov}$  za izpolnitev kriterija  $D > 1,8\%$  na 50 % referenčne ravnine. Vir: lasten.

**Figure 43:**  $VD_{avg}$  vs. the percentage of the reference plane in the room with the minimum achieved daylight factor ( $D$ ) according to SIST EN 17037. The X marks denote the threshold values of  $VD_{avg}$  for the fulfilment of the  $D > 1,8\%$  at more than 50% of data point criteria. Source: author.

Opisane mejne vrednosti  $VD_{pov}$  za primerno osvetljenost posameznih globin sobe smo primerjali z vrednostmi, pridobljenimi s simulacijami osvetljenosti fasad pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe modelov, ki so opisane v poglavju 5.2.1. Tako smo s polinomskimi trendnimi črtami z  $R^2 \geq 0,99$  povezali vrednosti  $VD_{pov}$ , dosežene na fasadi pritličja in prvega nadstropja, z vrednostmi FI posameznega modela. Iz enačb njihovega poteka smo izračunali, kakšen je FI pri mejnih vrednostih osvetljenosti (slika 44). V naslednjem koraku smo te vrednosti zaokrožili na dejanske FI posamičnih modelov. Mejne vrednosti FI za vse tipologije in gostote zazidav z legami brez zamika, ki dosegajo najnižje vrednosti  $VD_{pov}$  in zamikom ob daljši stranici stavbe, ki dosegajo najvišje vrednosti  $VD_{pov}$  smo povzeli v preglednicah mejnih vrednosti za zadostno osvetljenost različnih globin sobe v pritličju (preglednica 13) in 1. nadstropju (preglednica 14) osrednje stavbe raziskanih modelov večstanovanjskih zazidav.





**Slika 44:** Grafična ilustracija postopka izračuna  $FI$  pri mejnih vrednostih  $VD_{pov}$  na fasadi pritličja osrednje stavbe modelov koridorskih blokov z zunanjim hodnikom pri vseh FZ in postavitvah z najvišjo (KzB) in najnižjo (KzA) osvetljenostjo fasade. Mejne vrednosti  $FI$  so označene z rdečimi oznakami X. Vir: lasten.

**Figure 44:** A graphic illustration of the procedure for the calculation of  $FAR$  for minimum values of  $VD_{avg}$  on the ground floor facade of the central linear buildings with shared exterior horizontal access for all site coverages and building placements with the highest (KzB) and lowest (KzA) amount of daylight on the facade. The calculated minimum  $FAR$  values are denoted by red X marks. Source: author.

**Preglednica 13:** Maksimalni FI za vse tipologije in FZ stanovanjskih zazidav s postavitvami brez zamika in z zamikom ob daljši stranici stavbe glede na zadostno osvetljeno globino sobe v pritličju stavbe. S sivo barvo so zapisane izračunane vrednosti FI, ki bi zahtevale etažnost pod P + 2 ali nad P + 8, ki za raziskane tipologije ni značilna.

**Table 13:** *Maximum FAR for all researched residential development typologies and site coverage variations with parallel placement and placement of buildings shifted along the longer side of the building for adequate natural lighting of different ground floor room depths. Grey denotes the calculated FAR values that would either not meet or exceed the no. of floors typical for the researched typologies.*

maksimalni FI pri globini sobe					
lamelni blok	7,5 m	7,0 m	6,0 m	5,0 m	4,0 m
L1B	1,4	1,6	2,6	3,6	5,0
L1A	1,2	1,4	2,2	3,0	4,4
L2B	1,2	1,5	2,1	3,0	4,5
L2A	0,9	1,2	1,8	2,7	4,2
L3B	0,8	1,2	1,6	2,4	4,0
L3A	0,8	1,2	1,6	2,4	3,6
L4B	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0
L4A	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0
<b>koridorski blok</b>					
K1B	1,6	2,0	3,0	4,2	6,0
K1A	1,4	1,8	2,6	3,6	5,2
K2B	1,5	1,8	2,7	3,6	5,1
K2A	1,2	1,5	2,4	3,3	4,5
K3B	1,2	1,2	2,0	3,2	4,8
K3A	1,2	1,2	2,0	2,8	4,0
K4B	1,0	1,0	1,5	2,5	3,5
K4A	1,0	1,0	1,5	2,0	3,5
<b>koridorski blok z zunanjim hodnikom</b>					
K <sub>z</sub> 1B	1,0	1,2	2,0	2,8	4,0
K <sub>z</sub> 1A	0,8	1,0	1,8	2,4	3,6
K <sub>z</sub> 2B	0,9	1,2	1,5	2,4	3,9
K <sub>z</sub> 2A	0,9	0,9	1,5	2,1	3,3
K <sub>z</sub> 3B	0,8	0,8	1,2	2,0	3,2
K <sub>z</sub> 3A	0,8	0,8	1,2	1,6	2,8
K <sub>z</sub> 4B	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0
K <sub>z</sub> 4A	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0
<b>stolpič</b>					
S1B	1,0	1,4	2,0	3,0	4,6
S1A	1,0	1,2	2,0	3,0	4,4
S2B	0,9	1,2	1,8	2,7	4,5
S2A	0,9	1,2	1,5	2,4	4,2
S3B	0,8	0,8	1,6	2,0	3,6
S3A	0,8	0,8	1,2	2,0	3,2
S4B	0,5	1,0	1,0	1,5	2,5
S4A	0,5	0,5	1,0	1,5	2,5
<b>globoki stolpič</b>					
S <sub>g</sub> 1B	1,4	1,8	2,8	3,8	5,4
S <sub>g</sub> 1A	1,4	1,8	2,8	3,8	5,4
S <sub>g</sub> 2B	1,2	1,5	2,4	3,3	4,8
S <sub>g</sub> 2A	1,2	1,5	2,1	3,0	4,8
S <sub>g</sub> 3B	1,2	1,2	2,0	2,8	4,4
S <sub>g</sub> 3A	0,8	1,2	1,6	2,4	4,0
S <sub>g</sub> 4B	1,0	1,0	1,5	2,0	3,5
S <sub>g</sub> 4A	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0

**Preglednica 14:** Maksimalni FI za vse tipologije in FZ stanovanjskih zazidav s postavitvami brez zamika in z zamikom ob daljši stranici stavbe glede na zadostno osvetljeno globino sobe v 1. nadstropju stavbe. S sivo barvo so zapisane izračunane vrednosti FI, ki bi zahtevale etažnost pod P + 2 ali nad P + 8, ki za raziskane tipologije ni značilna.

**Table 14:** Maximum FAR for all researched residential development typologies and site coverage variations with parallel placement and placement of buildings shifted along the longer side of the building for adequate natural lighting of different first floor room depths. Grey denotes calculated FAR values that would either not meet or exceed the no. of floors typical for the researched typologies.

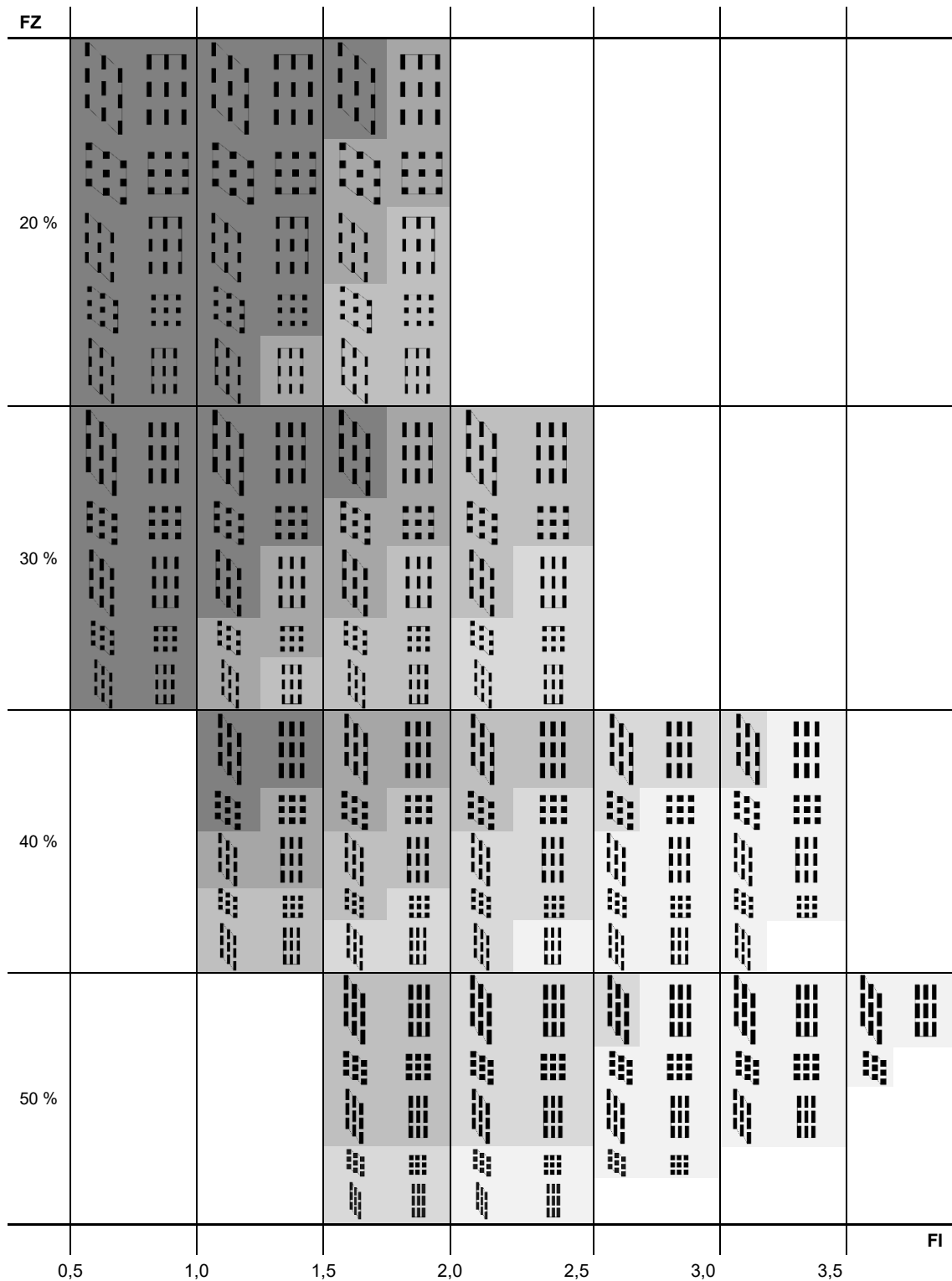
lamelni blok	maksimalni FI pri globini sobe				
	7,5 m	7,0 m	6,0 m	5,0 m	4,0 m
L1B	1,6	2,0	2,8	3,6	4,8
L1A	1,6	1,8	2,4	3,2	4,2
L2B	1,5	1,8	2,4	3,3	4,5
L2A	1,5	1,5	2,4	3,0	3,9
L3B	1,2	1,6	2,4	2,8	4,4
L3A	1,2	1,6	2,0	2,8	3,6
L4B	1,5	1,5	2,0	2,5	3,5
L4A	1,0	1,5	2,0	2,5	3,5
<b>koridorski blok</b>					
K1B	2,0	2,4	3,4	4,4	5,8
K1A	1,8	2,0	3,0	3,8	5,0
K2B	1,8	2,1	3,0	3,9	5,1
K2A	1,5	1,8	2,7	3,3	4,5
K3B	1,6	2,0	2,8	3,6	4,8
K3A	1,6	1,6	2,4	3,2	4,4
K4B	1,5	1,5	2,0	3,0	4,0
K4A	1,5	1,5	2,0	2,5	4,0
<b>koridorski blok z zunanjim hodnikom</b>					
K <sub>z</sub> 1B	1,4	1,6	2,2	2,8	3,8
K <sub>z</sub> 1A	1,2	1,4	2,0	2,6	3,4
K <sub>z</sub> 2B	1,2	1,5	2,1	2,7	3,9
K <sub>z</sub> 2A	1,2	1,2	1,8	2,4	3,3
K <sub>z</sub> 3B	1,2	1,2	1,6	2,4	3,6
K <sub>z</sub> 3A	1,2	1,2	1,6	2,0	3,2
K <sub>z</sub> 4B	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5
K <sub>z</sub> 4A	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5
<b>stolpič</b>					
S1B	1,4	1,6	2,2	3,0	4,0
S1A	1,4	1,6	2,2	3,0	4,0
S2B	1,2	1,5	2,1	3,0	4,2
S2A	1,2	1,5	2,1	2,7	3,9
S3B	1,2	1,2	2,0	2,4	4,0
S3A	1,2	1,2	1,6	2,4	3,6
S4B	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0
S4A	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5
<b>globoki stolpič</b>					
S <sub>g</sub> 1B	1,8	2,0	3,0	3,8	5,0
S <sub>g</sub> 1A	1,8	2,0	3,0	3,8	5,0
S <sub>g</sub> 2B	1,5	1,8	2,7	3,6	4,8
S <sub>g</sub> 2A	1,5	1,8	2,7	3,3	4,5
S <sub>g</sub> 3B	1,6	1,6	2,4	3,2	4,4
S <sub>g</sub> 3A	1,2	1,6	2,4	2,8	4,4
S <sub>g</sub> 4B	1,5	1,5	2,0	2,5	4,0
S <sub>g</sub> 4A	1,5	1,5	2,0	2,5	3,5

### 5.3 Priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja

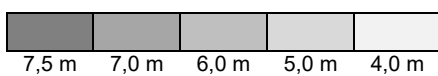
Rezultati preveritve energijske in svetlobne komponente osončenosti fasad v kontekstu okoliške zazidave, predstavljeni v poglavjih 5.1 in 5.2, kažejo, da večjo omejitev za gostoto večstanovanjske zazidave predstavlja doseganje primerne osvetljenosti. Medtem ko prejeta količina sončne energije na fasadi osrednje stavbe modelov stanovanjskih zazidav v ogrevalni sezoni, v vseh 2160 preverjenih scenarijih presega toplotne izgube skozi zastekljene odprtine, zadostno osvetljenost dosegajo samo nekatere. Za izpolnitev minimalnih priporočil SIST EN 17037 glede osvetljenosti najgloblje enostransko osvetljene sobe v pritličju večstanovanjske stavbe, kot jo določa slovenska zakonodaja, je pri najbolj osvetljeni fasadi koridorskega bloka v zazidavi z najnižjim  $FZ = 20\%$  in optimalno postavitvijo stavb z vzdolžnim zamikom maksimalni možni  $FI = 1,6$ ; ki je pri preostalih tipologijah večstanovanjskih zazidav in pri višjih  $FZ$  še bistveno nižji (preglednica 13). Pri najmanj osvetljeni varianti tipologije koridorskega bloka z zunanjim hodnikom in vzporedno postavitvijo stavb je že pri  $FZ = 20\%$  najvišji možni  $FI = 0,8$ . Maksimalni  $FI$  se viša z nižanjem  $FZ$  in manjšanjem globine sobe. V primeru prej opisane najmanj ugodne variante tipologije,  $FZ$  in lege, torej tipologije koridorskega bloka z zunanjim hodnikom in vzporedno lego stavb, je maksimalni  $FI$  1,6 pri globini sobe 4 m presežen zaradi omejitve etažnosti.

Izračunane maksimalne vrednosti  $FI$  za posamične tipologije smo povzeli v obliki dveh diagramov, ki prikazujeta maksimalne  $FI$  in  $FZ$  posameznih tipologij in lege stavb glede na zadostno osvetljeno globino sobe. Pri večstanovanjskih zazidavah je pritličje pogosto namenjeno nestanovanjski rabi, zato lahko najnižjo stanovanjsko etažo predstavlja prvo nadstropje stavbe. Tako prvi diagram (slika 45) prikazuje maksimalne  $FI$  glede na zadostno osvetljeno globino sobe v pritličju, drugi (slika 46) pa v prvem nadstropju stavbe.

Ker imajo  $FI$ ,  $FZ$ , zamik lege in izbrana tipologija stavb glede na analizo v poglavjih 5.1.1 in 5.2.1 podoben vpliv na osvetljenost in količino prejetega sončnega sevanja na fasadah stavb v večstanovanjskih zazidavah, lahko diagrama uporabimo kot splošno priporočilo za optimizacijo osončenosti večstanovanjskih zazidav v zgodnjih fazah urbanističnega načrtovanja. Pri tem mejne vrednosti  $FI$  služijo kot neposredna omejitev gostote zazidave zaradi vpliva na osvetljenost notranjih prostorov, medtem ko razvrstitev stavb glede na tipologijo,  $FZ$  in lego stavb pokaže tudi vpliv posamičnih kazalcev na količino prejete sončne energije na fasadi stavb. Raziskava energijske komponente osončenosti prispeva dodatno spoznanje, da je količina na fasadi stavbe prejete sončne energije v času ogrevalne sezone večja, ko je ena od daljših stranic stavbe obrnjena proti jugu.

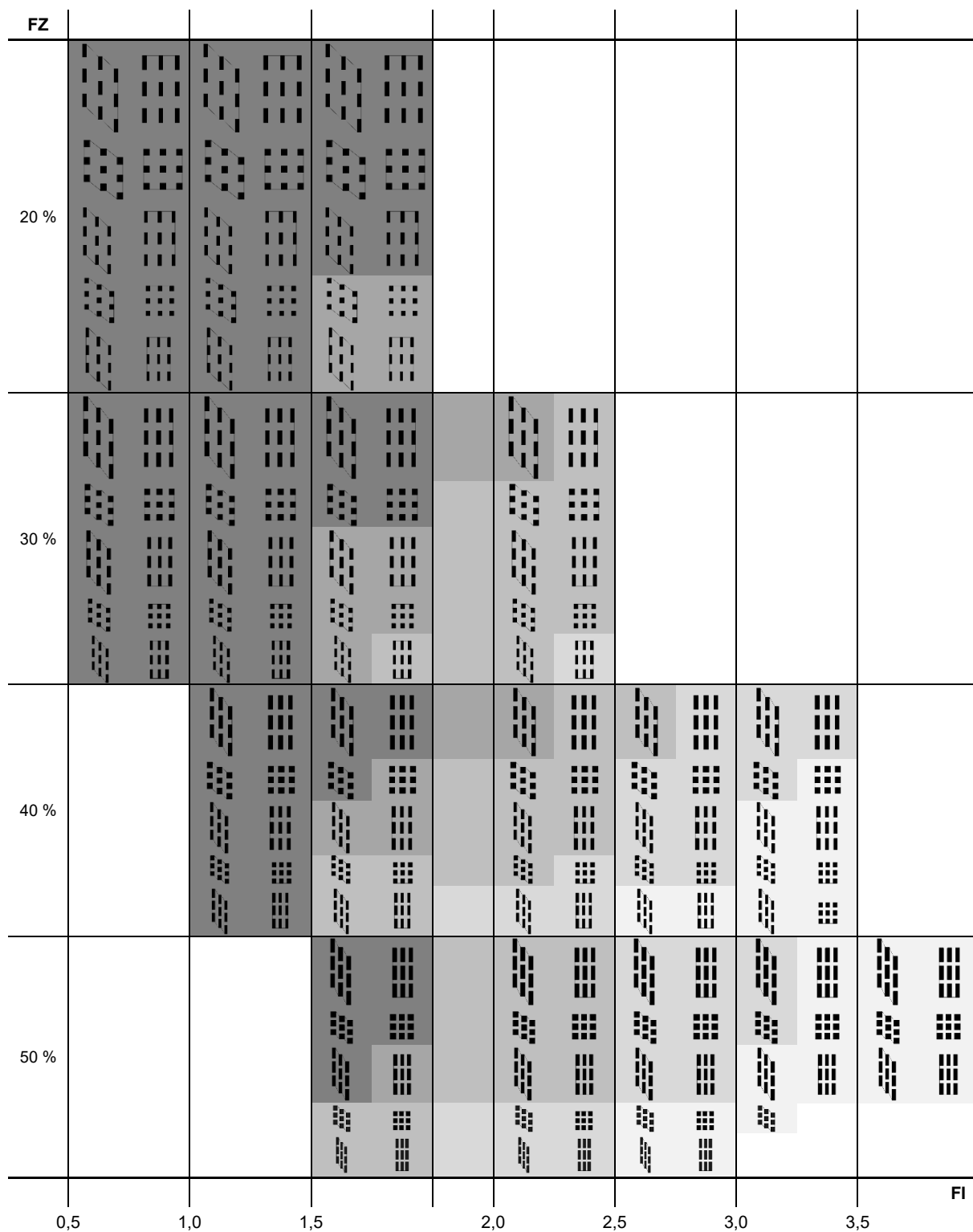


primerno osvetljena globina sobe:

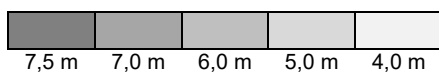


**Slika 45:** Ustrežno osvetljena globina sobe v pritličju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI, tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav. Vir: lasten.

**Figure 45:** Adequately daylight depth of a room on the ground floor of the central building of the model with respect to FAR, site coverage, building placement and typology. Source: author.



primerno osvetljena globina sobe:



**Slika 46:** Ustrezno osvetljena globina sobe v prvem nadstropju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI, tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav. Vir: lasten.

**Figure 46:** Adequately daylight depth of a room on the first floor of the central building of the model with respect to FAR, site coverage, building placement and typology. Source: author.

Iz diagrama osvetljenosti pritličij (slika 44) je razvidno, da že pri za izbrane tipologije značilnih  $FZ = 30\%$  in  $FI = 1,0-1,5$  (Čerpes, Blejec in Koželj, 2008) primerno osvetljena globina sobe večinoma ne dosega 7,5 m. To pomeni, da upoštevanje priporočil Pravidnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (2011) o največji možni globini sobe in minimalni površini odprtine za naravno osvetlitev prostora ni dovolj za zagotovitev primerne osvetljenosti prostorov z naravno svetlobo. Pri vseh tipologijah in postavitvah stavb je pri enakih  $FZ$  in  $FI$  globina sobe v prvih nadstropjih primerno osvetljena (slika 46). Iz navedenih ugotovitev sledi, da je pri večstanovanjskih zazidavah s  $FZ \geq 30\%$  in  $FI > 1,0-1,5$  za zagotovitev zadostne osvetljenosti pritličnih prostorov potrebno dodatno pozornost nameniti arhitekturni zasnovi stavb. Pri tem sta natančna mejna  $FZ$  in  $FI$  odvisna od tipologije in lege stavb (slika 45). Tipologije so od tistih z najbolj do najmanj osvetljenimi fasadami pri enaki gostoti zazidave razvrščene, kot sledi: koridorski blok, globoki stolpič, lamelni blok, stolpič in koridorski blok z zunanjim hodnikom. Zamik v legi stavb v smeri daljše stranice omogoči boljšo osončenost osrednje stavbe modelov. Pri večstanovanjskih zazidavah z višjimi  $FZ$  in  $FI$  moramo poskrbeti, da so površine odprtin za osvetljevanje prostorov v pritličju večje od minimalnih priporočenih oz. da so enostransko osvetljeni prostori plitvejši. V primeru, ko umestitev večjih odprtin in plitvejših stanovanj ni mogoča, je zaradi boljše dnevne osvetljenosti bolje zasnovati prvo etažo stavbe kot najnižjo stanovanjsko in pritličje nameniti drugim funkcijam.

Ker meje zemljišč modelov iz diagramov 45 in 46 potekajo ob obodu stavb, je potrebno ob uporabi priporočil pri izračunu  $FZ$  in  $FI$  novonačrtovanih večstanovanjskih zazidav ta izračunati z upoštevanjem nove meje, ki prav tako poteka ob obodu stavb.<sup>11</sup> Ob uporabi priporočil moramo upoštevati tudi, da se raziskava in priporočila osončenosti stavbnega ovoja nanašajo izključno na izbrane urbanistične kazalce. V njih nismo zajeli vpliva arhitekturnega oblikovanja in členitve volumnov stavb ter zasaditve dreves, ki lahko bistveno vplivajo na naravno osvetljenost prostorov in jih je treba obravnavati posebej.

#### **5.4 Preveritev priporočil za urbanistično načrtovanje večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja**

Da bi preverili pravilnost oz. uporabnost priporočil, predstavljenih v prejšnjem poglavju, smo z računalniškimi simulacijami določili osvetljenost nekaterih prostorov v dejanskih večstanovanjskih zazidavah. Namen preveritve ni bil verificiranje priporočil na vseh proučenih večstanovanjskih zazidavah, ampak ugotoviti, ali so priporočila in s tem rezultati disertacije smiselni. Zato smo izbrali dve tipološko homogeni zazidavi z najvišjima  $FZ$  in  $FI$ , za kateri smo na podlagi izsledkov raziskave sklepali, da sta problematični z vidika osvetljenosti prostorov v pritličju. Izračunane vrednosti primerno

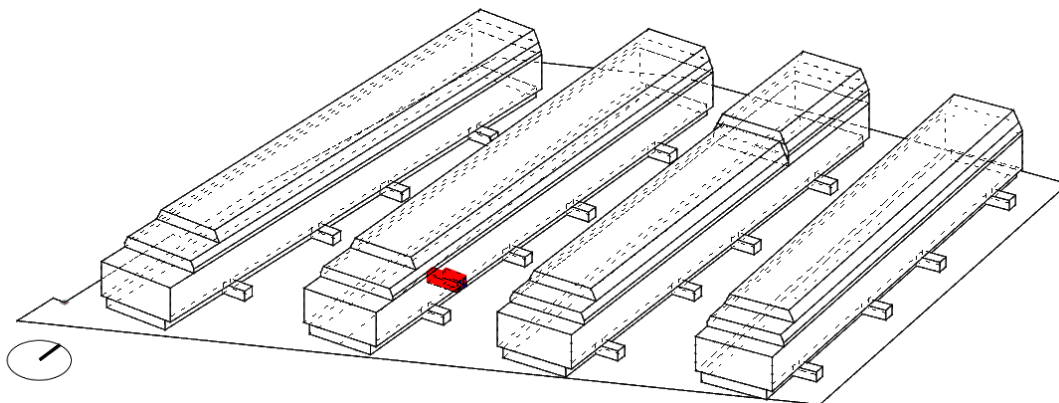
<sup>11</sup> Kot je zapisano v poglavju 4.3, umestitev parkirnih površin močno vpliva na  $FZ$  in  $FI$ . Večstanovanjske zazidave z bolj pozidanim parterjem imajo parkirne površine praviloma zagotovljene v garažah – pri teh je zato potek mej zemljišča bolj podoben poteku mej pri modelih. Menimo, da se z izrisom dodatne meje ob obodu stavb in izračunom »normiranih«  $FZ$  in  $FI$  pri načrtovanih večstanovanjskih zazidavah lahko bolj približamo pravilnemu razmerju med osončenostjo stavbnega ovoja in urbanističnimi kazalci, kot bi se z odmikom meje od oboda stavb pri modelih in izračunom  $FZ$  in  $FI$  z upoštevanjem dejanskih mej zemljišč novonačrtovanih večstanovanjskih zazidav.

osvetljene globine prostorov glede na gostoto zazidave smo primerjali z vrednostmi iz priporočil, predstavljenih v poglavju 5.3. Prav tako smo določili količino sončne energije, prejete na ovoju bolj osenčenih stavb obeh večstanovanjskih zazidav v času kurilne sezone, in preverili skladnost z mejnimi vrednostmi, ki še omogočajo pozitivno energijsko bilanco zasteklitve.

#### 5.4.1 Osvetljenost sob in osončenost fasad pri linijskem vzorcu zidave

Zazidava štirih vzporednih večstanovanjskih koridorskih blokov dolžine od 125 m do 140 m na Mesarski cesti v Ljubljani, dokončana leta 2006, je nastala po načrtih na vabljenem natečaju izbranega arhitekturnega biroja Ofis. Stanovanja v stavbah so bila namenjena prodaji v okviru sheme SSRS. Vsak blok je zasnovan iz štirih ločenih modulov, znotraj katerega se nahajata stopnišče in dvigalo ter 42 stanovanj različnih velikostih. Z izjemo enega modula, ki je za etažo višji, so vsi bloki visoki šest etaž, pri čemer sta zadnji dve nadstropji ožji od preostalih treh. Kot navaja zapis avtorjev arhitekturne zasnove večstanovanjske zazidave (Ofis, 2020), je fasada vseh nadstropij zasnovana kot dvojna opna, znotraj katere se nahajajo balkoni, lože in zimski vrtovi. Fasada pritličij, kjer balkone zamenjajo zunanje terase, je za 1,54 m zamaknjena v notranjost. Pod večstanovanjskimi stavbami se nahajata dva nivoja podzemnih garaž.

Osvetljenost smo preverjali v dnevni sobi z jedilnico in kuhinjo 2,5-sobnega stanovanja v pritličju drugega bloka na vzhodni strani (slika 47).

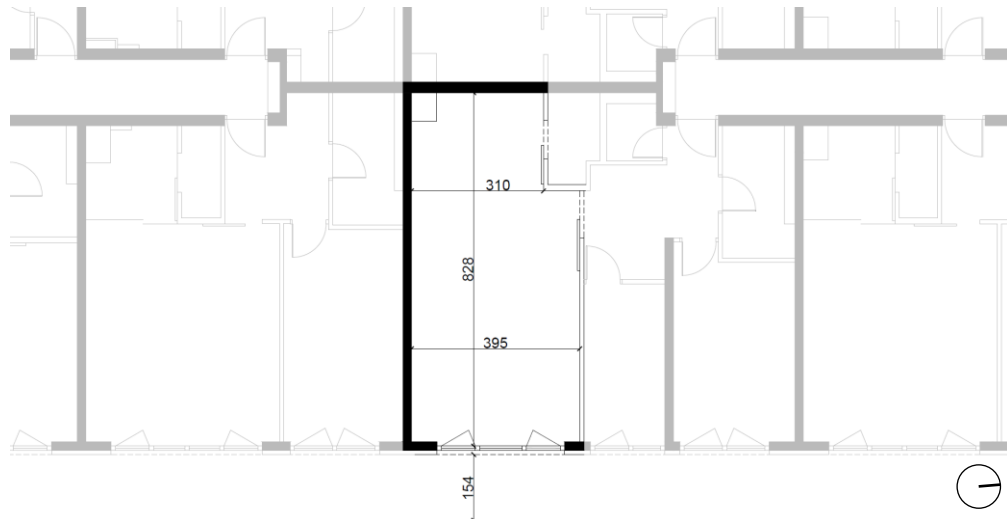


**Slika 47:** Model večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti z rdečo označeno sobo za simulacijo osvetljenosti.  
Vir: lasten.

**Figure 47:** A model of the residential development Mesarska with the room for daylighting simulation marked red.  
Source: author.

Soba je bila izbrana kot primer potencialno slabo osvetljenega prostora, saj je bilo že zaradi njene globine, 8,28 m pri 2,58 m svetle višine, in pritlične lege pod 1,54 m globoko konzolo pričakovati, da ne bo dosegala zahtev SIST EN 17037 (slika 48).





**Slika 48:** Tloris sobe za simulacijo osvetljenosti v bloku večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti. Vir: lasten.

**Figure 48:** Floor plan of the room in Mesarska development for daylighting simulations. Source: author.

Metoda simulacije osvetljenosti je bila enaka kot pri predhodnih izračunih osvetljenosti najgloblje sobe, dovoljene v Sloveniji. Uporabili smo metodologijo, priporočeno v SIST EN 17037, z izračunom D na referenčni ravnini z določenimi vrednostmi za ciljni in minimalni D, ki jih je treba doseči glede na dano lokacijo. Vrednosti D v prostoru so bile simulirane v skladu z zahtevami standarda SIST EN 17037 na 250 mm × 250 mm mreži na referenčni ravnini 850 mm nad tlemi, izvzemši območje oboda ravnine v razdalji 500 mm od stene. Tako kot pri določitvi mejnih vrednosti zasteklitve v poglavju 4.5.2 smo predpostavili svetlobno prepustnost zasteklitve 0,81. Odsevnosti materialov so bile kot pri predhodnih simulacijah določene v skladu s priporočili standarda SIST EN 17037 in so predstavljene v preglednici 9 v poglavju 4.7.2.

Pred simulacijami smo ponovno izračunali FI in FZ večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti, upoštevaje mejo zemljišča, zarisano ob obodu stavb. Dejanska meja zemljišča pri večstanovanjskih zazidavah je namreč odmaknjena od stavb. Na drugi strani pa meja pri modelih, na katerih temeljijo priporočila o gostoti zazidav glede na zadostno osvetljeno globino sobe, zajema obode stavb. To pomeni, da so priporočila zaradi primerljivosti uporabna samo s ponovnim izračunom 'normiranih' FI in FZ obravnavanih zazidav, ki v večstanovanjski zazidavi na Mesarski cesti znašata: FZ = 54 % in FI = 3,1. V skladu s sliko 45, ki predstavlja ustrezno osvetljene globine sob v pritličju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI, tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav, bi morale biti pri FZ = 50 % in FI ≥ 3 ustrezno osvetljenih 4 m globine sobe.

Iz rezultatov simulacij osvetljenosti dejanske situacije izbranega primera sobe v preglednici 15 je razvidno, da najnižji  $D \geq 0,6 \%$ , in s tem najmanjšo ciljno osvetljenost 100 lx, dosega le 41,87 % celic referenčne ravnine v sobi, medtem ko bi moral v skladu s SIST EN 17037 to vrednost dosežati 95 %. Delež celic z  $D \geq 1,8 \%$  in s tem doseženo ciljno osvetljenostjo 300 lx je le 9,64 %, medtem ko bi moral biti v skladu s SIST EN 17037 enak ali višji od 50 %. Tudi pri zmanjšani globini meritve osvetljenosti na 4 m, ki bi morala biti v skladu s priporočili iz poglavja 5.5 zadostno osvetljena, je delež celic z

$D \geq 0,6\%$  le 76,92 %, medtem ko je delež celic z  $D \geq 1,8\%$ , 15,38 %. Ker smo sklepali, da dodatno senčenje povzroča konzola pred oknom, smo simulacijo ponovili za globino sobe 4 m brez vpliva konzole. Tokrat so rezultati skladni s smernicami, saj  $D \geq 0,6\%$  ali več dosega celotna referenčna ravnina, medtem ko  $D \geq 1,8\%$  dosega ali presega 55,95 % celic. Iz rezultatov je mogoče razbrati močan vpliv oblikovanja stavbe, saj je konzola bistveno zmanjšala naravno osvetljenost sobe.

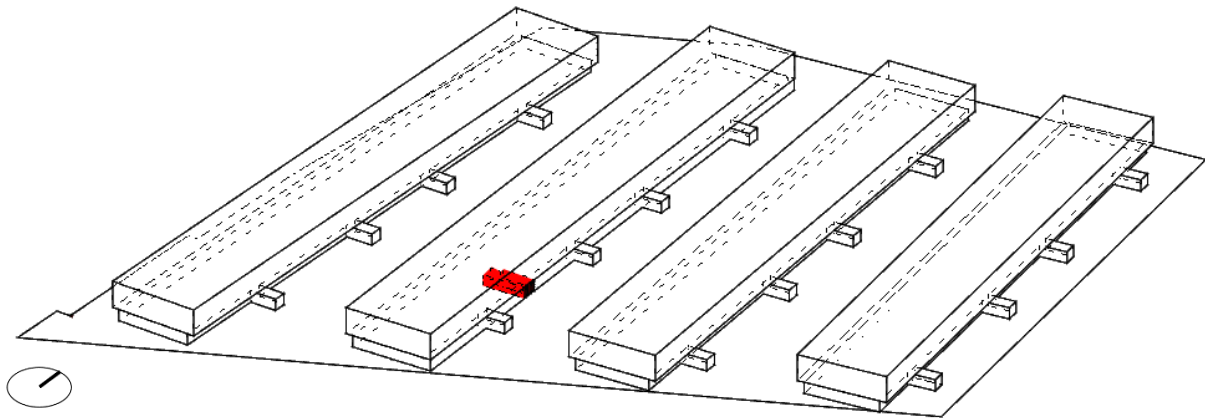
**Preglednica 15:** Naravna osvetljenost izbrane sobe v večstanovanjski zazidavi na Mesarski cesti.

**Table 15:** Daylighting of the chosen room in Mesarska residential development.

		delež celic z $D \geq 0,6\%$ [%]	delež celic z $D \geq 1,8\%$ [%]
soba z 1,54 m konzolo nad oknom; globina izračuna osvetljenosti 8,18 m		41,87 %	9,64 %
soba z 1,54 m konzolo nad oknom; globina izračuna osvetljenosti 4,00 m		76,92 %	15,38 %
soba brez konzole nad oknom; globina izračuna osvetljenosti 4,00 m		100,00 %	55,95 %

V naslednjem koraku smo večstanovanjsko zazidavo na Mesarski preoblikovali tako, da bi dosegli večjo globino zadostne osvetljenosti sobe. Odstranili smo zgornje tri etaže stavb, kar pomeni, da smo FI s 3,1

zmanjšali na 1,6 (slika 49). V skladu s priporočili, predstavljenimi v poglavju 5.3, bi morala biti ustrezno osvetljena globina sobe 6 m.



**Slika 49:** Model znižanih stavb večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti z rdečo označeno sobo za simulacijo osvetljenosti. Vir: lasten.

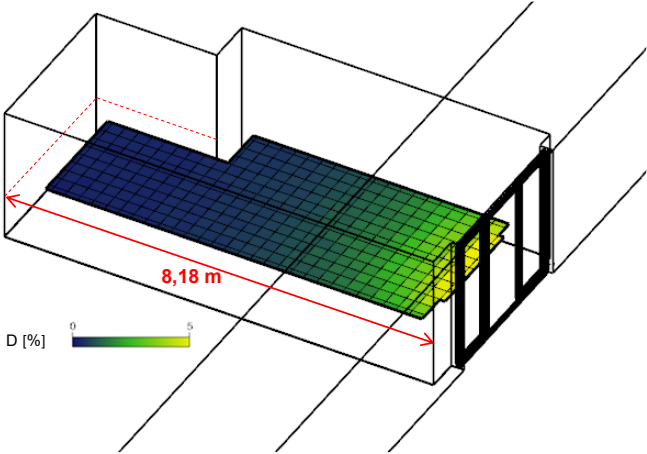
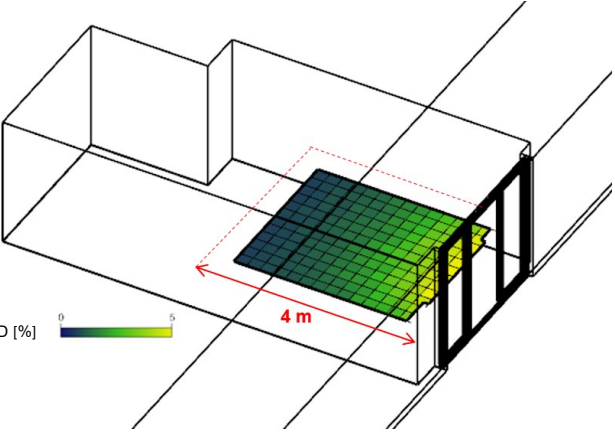
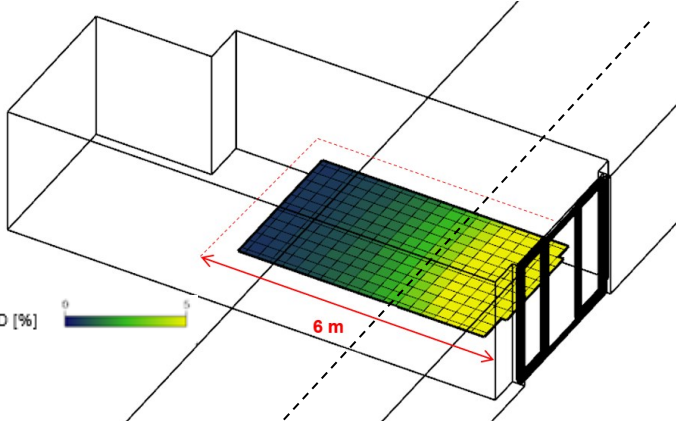
**Figure 49:** A model of the residential development Mesarska with reduced building height and the room for daylighting simulation marked red. Source: author.

Pri ponovni simulaciji se delež celic z  $D \geq 0,6\%$  poveča na 54,27 %, medtem ko se delež celic z  $D \geq 1,8\%$  poveča na 23,69 % (preglednica 16). Pri globini izračuna osvetljenosti 4 m se vrednosti približajo priporočenim, saj D na celotni referenčni ravnini dosega oz. presega 0,6 %, medtem ko 44,64 % dosega oz. presega vrednost 1,8 %.

Da bi izvezli vpliv oblikovanja stavbe oz. konzole, smo sobo podaljšali do roba konzole in simulacijo ponovili za globino sobe 6 m, ki bi morala biti v skladu z zahtevami SIST EN 17037 zadostno osvetljena. Rezultati simulacije kažejo, da delež celic z  $D \geq 1,8\%$  presega zahtevanih 50 %. Delež celic z  $D \geq 0,6\%$ , se z 86,06 % predpisanemu deležu le približa.

Ugotovimo lahko, da se rezultati preizkusa osvetljenosti skladajo z oblikovanimi priporočili o gostoti večstanovanjskih zazidav glede na osvetljeno globino sobe. Ob tem je treba upoštevati, da v priporočila ni vključen vpliv oblikovanja stavbe, ki dodatno zmanjša količino prejete svetlobe v prostorih. Modeli prav tako ne zajemajo oblikovanja terena, ograj, vrtnih lop, realnih vrednosti odsevnosti površin in rastlin, ki potencialno dodatno znižajo stopnjo osvetljenosti notranjosti.

**Preglednica 16:** Naravna osvetljenost izbrane sobe v nižani večstanovanjski zazidavi na Mesarski cesti.  
**Table 16:** Daylighting of the chosen room in Mesarska residential development with reduced building height.

		delež celic z $D \geq 0,6$ [%]	delež celic z $D \geq 1,8$ [%]
<p>soba z 1,54 m konzolo nad oknom; globina meritve svetlobe 8,18 m</p> 		54,27 %	23,69 %
<p>soba z 1,54 m konzolo nad oknom; globina meritve svetlobe 4,00 m</p> 		100,00 %	44,64 %
<p>soba brez konzole nad oknom; globina meritve svetlobe 6,00 m</p> 		86,06 %	52,38 %

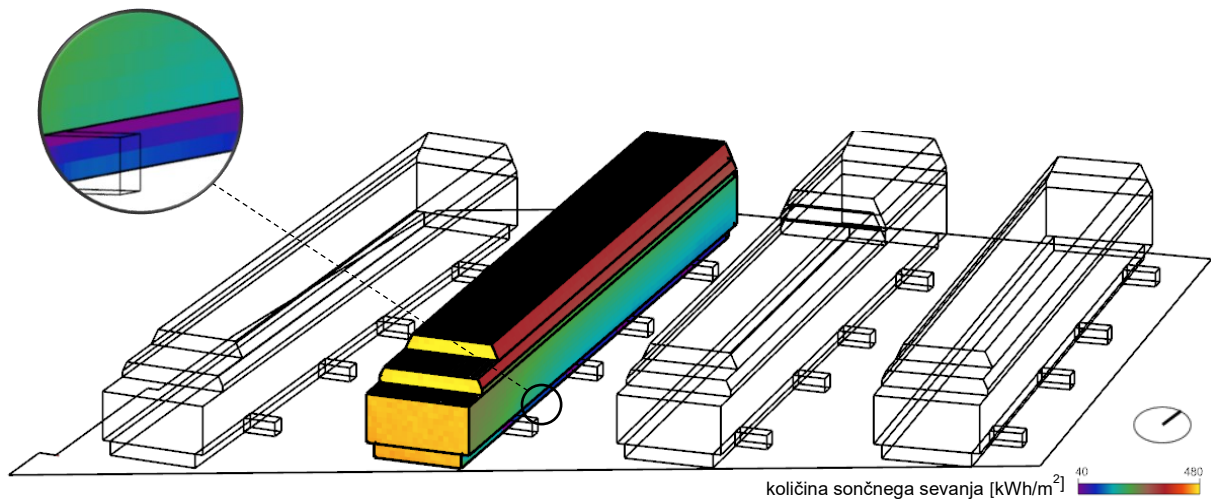
V naslednjem koraku smo preverili količino prejetega sončnega sevanja na fasadah obravnavane stavbe v času ogrevalne sezone, da bi jo lahko primerjali z mejno vrednostjo. Količina prejetega sončnega sevanja na vseh fasadah v povprečju presega mejno vrednost 115,83 kWh/m<sup>2</sup>, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi zasteklitev (preglednica 17). Kot je razvidno iz ilustracije količine

sončnega sevanja na fasadi (slika 50), je količina prejetega sončnega sevanja na pritličnem delu fasade zaradi konzole bistveno nižja kot v drugih nadstropjih. Povprečna vrednost prejetega sončnega sevanja na vzhodni fasadi pritličja v času ogrevalne sezone je 67,61 kWh/m<sup>2</sup>, torej bistveno manj od mejne vrednosti, ki bi še omogočala pozitivno energijsko bilanco ob upoštevanju predpostavljenih lastnosti zasteklitve (preglednica 12).

**Preglednica 17:** Prejeta količina sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe v večstanovanjski zazidavi na Mesarski cesti v času ogrevalne sezone.

**Table 17:** The amount of solar radiation received on the facade of the inspected building in Mesarska residential development during the heating season

	južna fasada	vzhodna fasada	severna fasada	zahodna fasada	povpečje vseh fasad
količina prejetega sončnega sevanja v času ogrevalne sezone [kWh/m <sup>2</sup> ]	465,84	217,75	154,44	242,37	239,88



**Slika 50:** Ilustracija količine prejetega sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe stanovanjske zazidave na Mesarski cesti v času ogrevalne sezone. Vir: lasten.

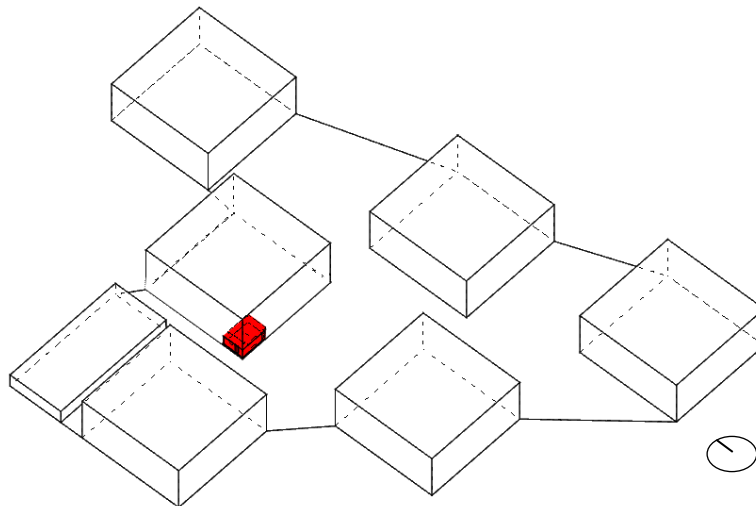
**Figure 50:** Illustration of the amount of received solar radiation on the facade of the examined building Mesarska residential development during the heating season. Source: author.

#### 5.4.2 Osvetljenost sob in osončenost fasad pri točkovnem vzorcu zidave

Zazidavo šestih v vzorcu šahovnice postavljenih točkovnih večstanovanjskih stavb s štirimi etažami in skupno 183 najemnimi neprofitnimi stanovanji različnih velikosti, dokončano leta 2011, je za JSS MOL zasnoval arhitekturni biro Bevk Perović arhitekti. V projektni dokumentaciji večstanovanjske zazidave Polje II (Bevk Perović, 2011) je zapisano, da so stavbe tlorisno organizirane centralno, okoli jedra, ki vsebuje glavno stopnišče, skupne horizontalne komunikacije in shrambe. Tipična etaža vseh stavb je sestavljena iz osmih stanovanj, razporejenih okrog centralnega jedra. Na vsaki stranici stavbe sta po dve stanovanji, pri čemer je večje stanovanje vedno na vogalu in zasnovano tako, da je bivalni del osvetljen z dveh strani. Pred bivalnim delom stanovanj se nahajajo lože s shrambami. V pritličju dvosobno

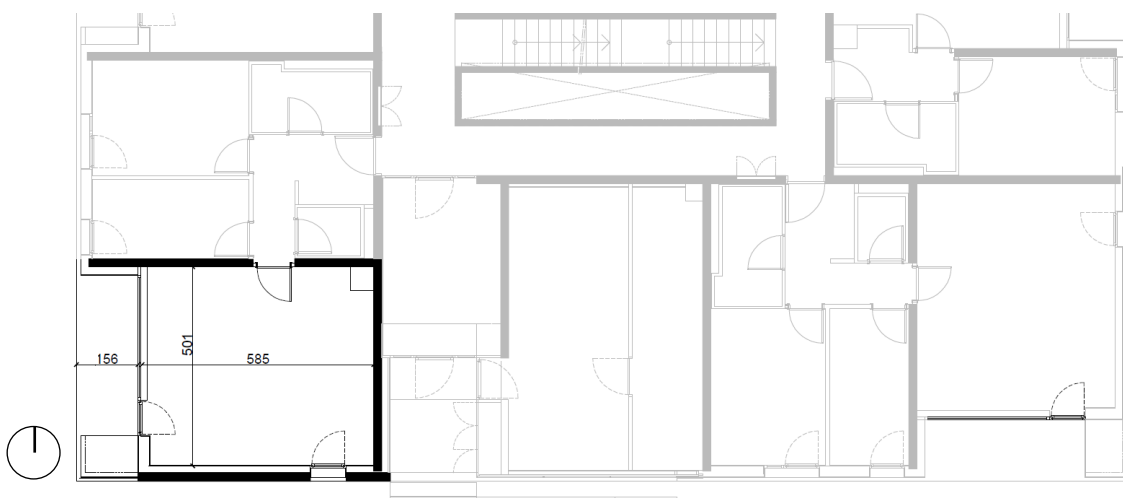
stanovanje zamenjata vhod in kolesarnica. Pod tremi bloki je podzemna garaža. V sklopu zazidave se na severovzhodu nahaja pritlični dvoodelčni vrtec.

Osvetljenost smo preverjali v bivalnem delu 2,5-sobnega stanovanja v jugozahodnem vogalu pritličja najbolj osenčenega bloka, ki vsebuje kuhinjo, dnevno sobo in jedilnico (slika 51).



**Slika 51:** Model večstanovanjske zazidave Polje II z rdečo označeno sobo za simulacijo osvetljenosti. Vir: lasten.  
**Figure 51:** A model of the residential development Polje II with the room for daylighting simulation marked red. Source: author.

Soba je bila izbrana zaradi velikosti, ki je med vsemi najbolj primerljiva s testno sobo, zaradi lege nasproti druge stavbe in dodatnega okna na južni stranici (slika 52). Soba se s tlorisnimi merami približa kvadratu; njena svetla višina je 2,57 m. Pred večjim oknom s 40 cm visokim parapetom in balkonskimi vrati se nahaja 1,56 m globoka loža s shrambo. Dodatno okno nam je omogočilo preveritev vpliva dvostranske orientacije sobe na njeno osvetljenost, prav tako smo lahko preverili negativni vpliv lože, ki se nahaja pred večjim oknom na zahodni strani.



**Slika 52:** Tloris sobe za simulacijo osvetljenosti v bloku večstanovanjske zazidave Polje II. Vir: lasten.  
**Figure 52:** Floor plan of the room in Polje II development for daylighting simulations. Source: author.



Kot pri preveritvi večstanovanjske zazidave na Mesarski cesti smo pred simulacijami ponovno izračunali FI in FZ večstanovanjske zazidave, upoštevaje mejo zemljišča, zarisano ob obodu stavb. Dobili smo naslednja rezultata: FZ = 54 % in FI = 2,0. V skladu s sliko 45, ki predstavlja ustrezno osvetljene globine sob v pritličju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI ter tipologijo in lego večstanovanjskih zazidav, bi morala biti pri FZ = 50 % in FI  $\geq 2$  ter pri tipologiji globokega stolpiča ustrezno osvetljena globina sobe 5 m. Rezultati simulacij dejanske osvetljenosti sobe so predstavljeni v preglednici 18.

**Preglednica 18:** Naravna osvetljenost izbrane sobe v večstanovanjski zazidavi Polje II.

**Table 18:** Daylighting of the chosen room in Polje II residential development.

		delež celic z D $\geq 0,6$ [%]	delež celic z D $\geq 1,8$ [%]
soba z 1,56 m globoko ložo in dodatnim oknom; globina izračuna osvetljenosti 5,85 m		100,00 %	22,64 %
soba z 1,56 m globoko ložo brez dodatnega okna; globina izračuna osvetljenosti 5,85 m		54,72 %	8,49 %

Nadaljevanje preglednice 18 s strani 87:

		<b>delež celic z <math>D \geq 0,6</math> [%]</b>	<b>delež celic z <math>D \geq 1,8</math> [%]</b>
soba brez lože in z dodatnim oknom; globina izračuna osvetljenosti 7,41 m		100,00 %	50,24 %
soba brez lože in dodatnega okna; globina izračuna osvetljenosti 7,41 m		68,51 %	31,97 %
soba brez lože in dodatnega okna; globina izračuna osvetljenosti 5,00 m		100,00 %	50,78 %



Kot je razvidno iz preglednice 18, je najnižji  $D \geq 0,6 \%$  in s tem najmanjša ciljna osvetljenost 100 lx dosežena na celotni površini referenčne ravnine sobe. Delež celic z  $D \geq 1,8 \%$  in ciljna osvetljenost 300 lx je dosežena le na 22,64 % površine, medtem ko bi v skladu s SIST EN 17037 moral znašati 50 % ali več. Ker je v stavbi več enakih bivalnih prostorov z enostransko orientacijo, smo dodatno okno na južni stranici odstranili ter ponovno simulirali osvetljenost. Oba deleža celic se z odstranitvijo okna prepолоvita: delež celic z  $D \geq 0,6 \%$  znaša 54,72 %, delež celic z  $D \geq 1,8 \%$  pa 8,49 %. V naslednjem koraku smo sobo podaljšali do konca lože, s čimer smo želeli odstraniti vpliv njenega senčenja. Z dodatnim oknom na južni stranici sobe sta deleža celic na referenčni ravnini, ki dosegajo zadosten D, skladna s SIST EN 17037, saj je najmanjši ciljni D dosežen na celotni površini referenčne ravnine sobe, medtem ko delež celic z  $D \geq 1,8 \%$  znaša 50,24 %. Z odstranitvijo dodatnega okna na južni stranici sobe se deleža zmanjšata, in sicer na 68,51 % za  $D \geq 0,6 \%$  in na 31,97 % za  $D \geq 1,8 \%$ .

V naslednjem koraku smo simulacijo ponovili pri zmanjšani globini referenčne ravnine na 5 m, ki naj bi bila glede na oblikovana priporočila pri podanih FZ in FI osvetljena v skladu z zahtevami SIST EN 17037. Ugotovili smo, da je s 100-odstotnim deležem celic z  $D \geq 0,6 \%$  ali več in 50,78-odstotnim deležem celic z  $D \geq 1,8 \%$  osvetljenost sobe skladna s priporočili. Ponovno se je za zelo pomembnega izkazal vpliv oblikovanja stavbe – negativen vpliv lož, ki povzročajo močno senčenje, in pozitiven vpliv dvostranske orientacije prostorov.

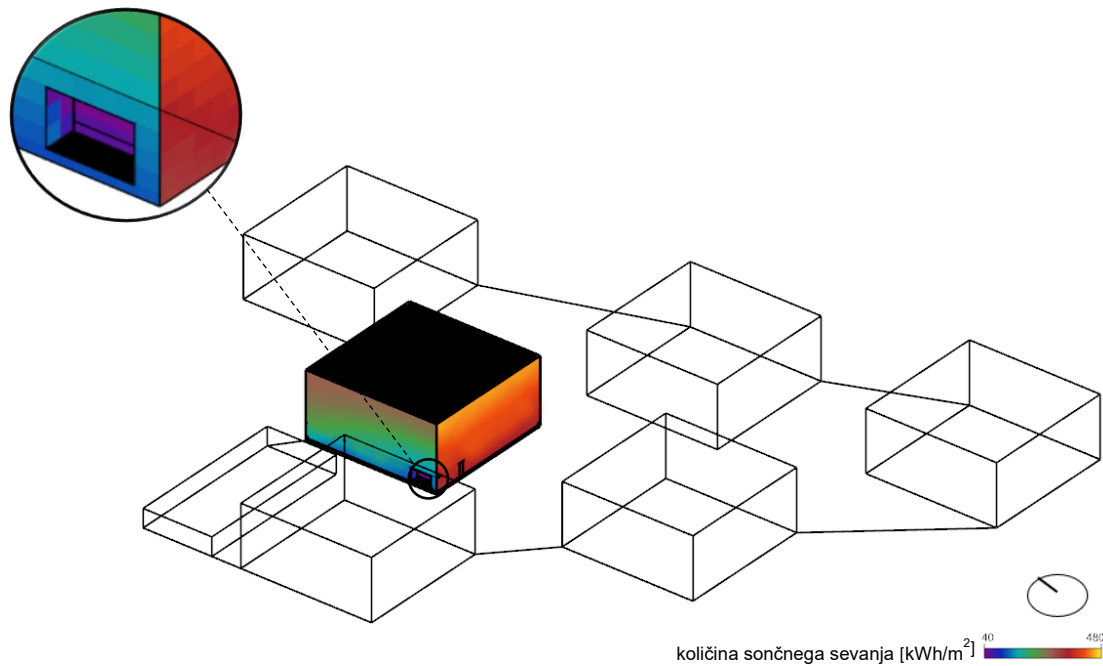
V zadnjem koraku smo preverili povprečno količino prejetega sončnega sevanja na fasadah obravnavane stavbe v času ogrevalne sezone, da bi jih lahko primerjali z mejno vrednostjo. Izkazalo se je, da povprečna količina prejetega sončnega sevanja v času ogrevalne sezone na vseh fasadah presega mejno vrednost 115,83 kWh/m<sup>2</sup>, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi zasteklitev (preglednica 19).

**Preglednica 19:** Prejeta količina sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe v večstanovanjski zazidavi Polje II v času ogrevalne sezone.

**Table 19:** *The amount of solar radiation received on the facade of the inspected building in residential development Polje II during the heating season.*

	južna fasada	vzhodna fasada	severna fasada	zahodna fasada	povprečje vseh fasad
količina prejetega sončnega sevanja v času ogrevalne sezone [kWh/m <sup>2</sup> ]	402,15	234,10	157,74	218,29	253,07

Kot je razvidno iz ilustracije prejetega sončnega sevanja na fasadi obravnavanega bloka (slika 53), je njegova količina na fasadi višja kot mejna vrednost tudi na najbolj osenčenem pritličnem delu, kjer se nahaja proučevana soba. Količina sončnega sevanja, prejetega na površini oken v loži, je zaradi senčenja močno zmanjšana in na površini okna obravnavane sobe dosega le povprečno vrednost 40,80 kWh/m<sup>2</sup>, kar kaže na močan vpliv oblikovanja stavb ne le na osvetljenost, ampak tudi na energijsko bilanco zasteklitve.



**Slika 53:** Ilustracija količine prejetega sončnega sevanja na fasadi preverjane stavbe stanovanjske zazidave Polje II v času ogrevalne sezone. Vir: lasten.

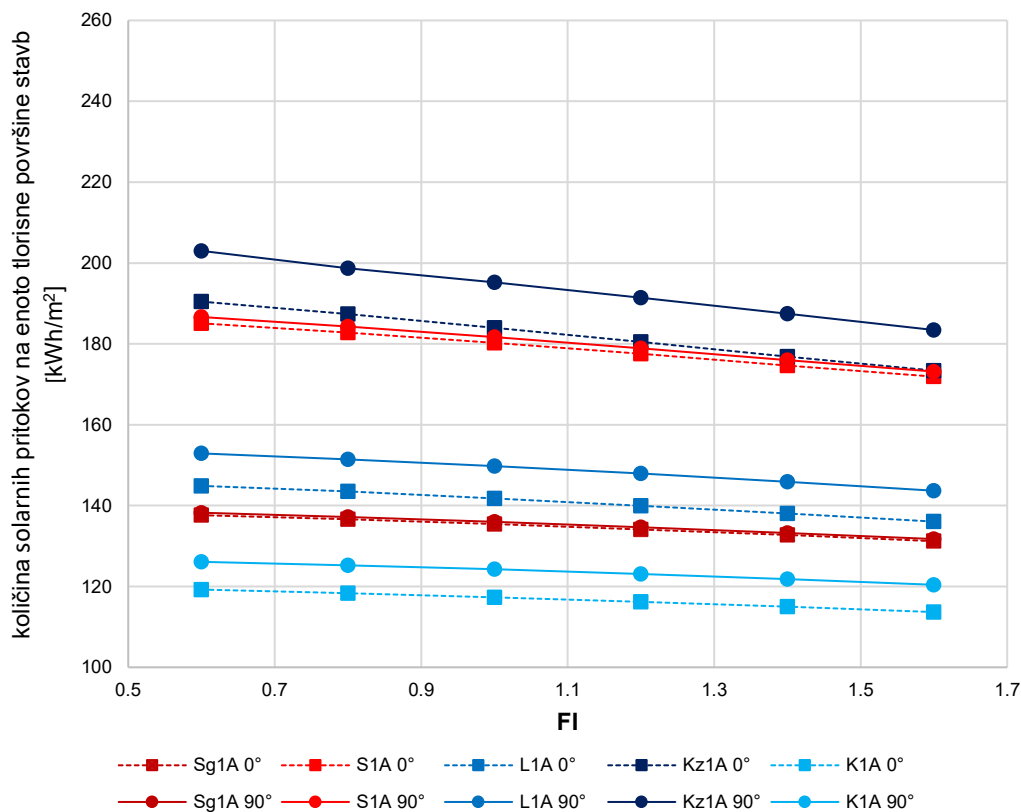
**Figure 53:** Illustration of the amount of received solar radiation on the facade of the examined building Polje II residential development during the heating season. Source: author.

Preveritev smiselnosti izoblikovanih priporočil je pokazala, da bi v izbranih primerih urbanistična priporočila veljala. Obenem je preveritev ilustrirala omejitve uporabnosti priporočil, saj tako na energijsko kot na svetlobno komponento osončenosti stavbnega ovoja močno vpliva arhitekturna zasnova stavb, ki v priporočilih ni zajeta.

## 6 DISKUSIJA

Ugotovitve raziskave glede negativne korelacije med gostoto zazidave in osončenostjo stavb ne presenečajo, saj je bil močan vpliv FI in FZ na solarni potencial ugotovljen že z raziskavami v preteklosti (Nault et al., 2015; Compagnon, 2000). V raziskavi uporabljena FZ in FI sta univerzalno uporabna kot merili gostote vseh tipologij večstanovanjskih zazidav za razliko od pogosto uporabljenega razmerja med višino stavbe in širino ulice v raziskavah o osončenosti v urbanih kanjonih (Strømmandersen in Sattrup, 2011; Nasrollahi in Shokri, 2016). Neposredna povezava FZ in FI s potencialom osončenosti je zelo koristna za uporabo v zgodnjih fazah načrtovanja novih večstanovanjskih zazidav tudi zato, ker se uporabljata kot merilo gostote v prostorskih izvedbenih aktih (OdSPRS, 2004). Definicija vpliva tipa, lege in orientacije stavb na njihovo osončenost dodatno razširi spoznanja o vplivu urbanističnih kazalcev na osončenost stavbnega ovoja. Ob interpretaciji rezultatov in uporabi priporočil za optimizacijo večstanovanjskih zazidav se moramo zavedati določenih omejitev, ki izhajajo iz uporabljene metode raziskave in jih podrobneje predstavljamo v nadaljevanju.

Rezultati simulacij kažejo na močan vpliv tipologije stavb na njihovo osončenost. Pri tem smo količino sončne energije, prejete na fasadah najbolj osenčenih, osrednjih stavb modelov, primerjali z mejno vrednostjo solarnih dobitkov, ki smo jih definirali kot minimalno količino energije, prejete skozi zastekljeno odprtino, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi njo. Analiza rezultatov je privedla do zaključka, da so pri enakih FZ in FI solarni dobitki višji pri tipologijah, pri katerih so odmiki med objekti večji, torej takrat, ko je tudi tlorisna površina stavb večja. To pomeni, da bi bila ob enakem deležu odprtin, namenjenih osvetlitvi, na fasadi, količina prejete sončne energije nižja pri tipologijah z manjšo tlorisno površino. Ob tem nismo upoštevali, da imajo stavbe različnih tipologij različne dejanske potrebe po energiji, ki med drugim izhajajo iz različnega razmerja med površino stavbnega ovoja in ogrevanim volumnom stavb. Kljub nižjim dejanskim količinam prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade je pri bolj razdrobljenih tipologijah z manjšimi tlorisnimi površinami in večjimi odmiki med stavbami količina solarnih pritokov na enoto tlorisne površine večja (slika 54). Količina prejetega sončnega sevanja na enoto tlorisne površine v ogrevalni sezoni pri tipologiji koridorskega bloka z zunanjim hodnikom s  $FZ = 20\%$  in orientacijo daljših stranic stavb proti severu in jugu pri  $FI = 0,6$  tako znaša  $203,0 \text{ kWh/m}^2$ , medtem ko je ta vrednost pri tipologiji koridorskega bloka  $126,1 \text{ kWh/m}^2$ , torej  $38\%$  nižja. Razlika se pri višjih FI nekoliko zmanjša in pri najvišjem  $FI = 1,6$  znaša  $33\%$ .



**Slika 54:** Količina prejetega sončnega sevanja na enoto tlorisne površine osrednje stavbe modelov različnih tipologij s FZ 20 % in vzporedno postavitvijo stavb pri orientaciji daljših stranic proti severu in jugu ter vzhodu in zahodu. Vir: lasten.

**Figure 54:** The amount of solar energy received per unit of floor area for the central building of models of different typologies with 20% site coverage and parallel placement of buildings with the orientation of the longer sides to the north and south, and east and west. Source: author.

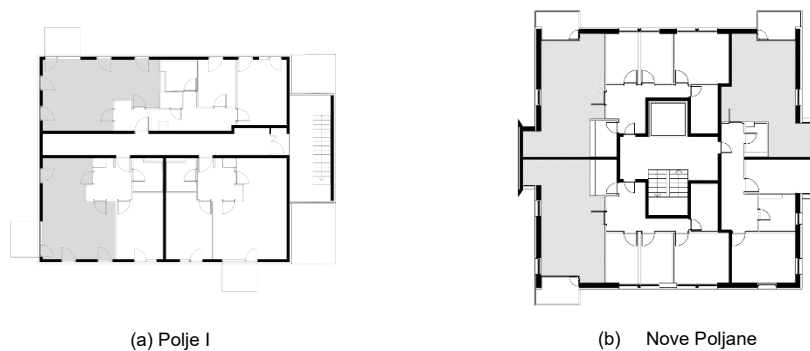
Tipologije z manjšimi tlorisnimi površinami kljub večjim solarnim dobitkom na enoto tlorisne površine niso nujno preferenčne. Geometrijske značilnosti stavb vplivajo tudi na energijske izgube skozi ovoj, kar je treba upoštevati pri izbiri energijsko najugodnejše tipologije. Obstajajo računalniška orodja, ki omogočajo izračune energijske bilance na nivoju urbanističnih zasnov. Med njimi je Urban Modelling Interface – UMI (Reinhart et al., 2013), ki enako kot v raziskavi uporabljeni vtičnik DIVA-for Rhino temelji na orodjih Rhinoceros in Grasshopper. Ob izvedbi simulacije UMI razdeli volumen stavbe na cono jedra in oboda, ob čemer imajo obodne cone globino dvakratne višine prostorov. Ta poenostavitev se ne sklada z globinami prostorov v proučenih večstanovanjskih stavbah, saj se globine prostorov pri različnih tipologijah razlikujejo (sliki 54 in 55). Poleg tega tovrstne simulacije zahtevajo informacije, ki v zgodnji fazi načrtovanja velikokrat še niso na voljo, kot so na primer gradbeno fizikalne lastnosti stavbnega ovoja in način uporabe oz. obratovanja stavb (Nault et al., 2015). Ker smo želeli v disertaciji pridobiti čim bolj uporabne rezultate in priporočila, smo se odločili, da jih ne bomo omejili s potencialno zavajajočimi predvidevanji o globinah prostorov, saj smo to storili že z določitvijo lastnosti zasteklitve ter odsevnosti površin v proučevanih stavbah.

Predvidena toplotna prehodnost zasteklitve odprtine za osvetlitev sobe, ki smo jo uporabili za izračun mejnih vrednosti osvetljenosti, je po slovenski zakonodaji najvišja dovoljena in je značilna za dvoslojne toplotno-izolativne zasteklitve. Ob spremembi tipa zasteklitve v pogosto uporabljano trislojno se mejne vrednosti osvetljenosti fasade za zadostno osvetljenost sobe bistveno spremenijo. To posledično pomeni spremembo priporočil o gostoti zazidave glede na tipologijo in postavitev stavb ter željeno zadostno osvetljeno globino sobe. Sprememba vrednosti odsevnosti površin, povzetih iz standarda SIST EN 17037, prav tako spremeni vrednosti prejetega sončnega sevanja in osvetljenosti na fasadah. Delitev predstavljene metodologije na dva dela, izračun  $VD_{pov}$  in količine prejetega sončnega sevanja na fasadah stavb v kontekstu okoliške zazidave ter določitev FZ in FI za posamične tipologije in lege stavb glede na mejne vrednosti količin prejetega sončnega sevanja in  $VD_{pov}$  omogoča določeno fleksibilnost pri uporabi rezultatov vsakega koraka ter s tem prilagoditev oz. spremembo priporočil glede na potrebe in/ali spremembo zakonodaje. V prvem koraku, preveritvi  $VD_{pov}$  oz. prejetega sončnega sevanja na fasadi, lahko vplivamo na dosežene vrednosti s prilagoditvijo odsevnosti površin glede na dejanske predvidene materiale. V drugem koraku lahko mejne vrednosti naravne osvetljenosti prilagodimo na več načinov. Kot v prvem koraku lahko nanje vplivamo s spremembo odsevnosti površin in svetlobno tehničnih ter sevalno fizikalnih lastnosti izbranega tipa zasteklitve, ki spremenijo mejno vrednost solarnih dobitkov, kakor tudi s spremembo geometrijskih značilnosti prostora. Diagrama, predstavljena na slikah 45 in 46, sta grafična povzetka priporočil za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave v zgodnjih fazah načrtovanja. Poleg najvišjih vrednosti FI in FZ, ki omogočajo zadostno osvetljenost določene globine sobe, prikazujeta tudi povezavo teh vrednosti z različnimi tipologijami in postavitvami stavb. Primerjava z vrednostmi v poglavju 4.3 opisanih večstanovanjskih zazidav pokaže, da so FZ in FI posamičnih večstanovanjskih zazidav, kot so npr. Tacenska, Mesarska, in Polje II, višji kot izračunani mejni FZ in FI. To pomeni, da stanovanjski prostori v pritličjih stavb v omenjenih večstanovanjskih zazidavah, zasnovanih v skladu z minimalnimi nacionalnimi zakonodajnimi zahtevami Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (2011), ne bi bili osvetljeni v skladu z zahtevami SIST EN 17037. Ne zadostno osvetljenost nekaterih prostorov v zazidavah Mesarska in Polje II je potrdila tudi preveritev priporočil v poglavju 5.4.

Urbanistični kazalci za napoved dnevne osvetljenosti notranjih prostorov niso dovolj (Kanters, Wall in Dubois, 2014). V disertaciji proučen odnos med nekaterimi urbanističnimi kazalci in osončenostjo ne zajema vpliva arhitekturne zasnove stavb, ki je lahko pozitiven (Okeil, 2010) ali negativen. Pri uporabi priporočil, predstavljenih v poglavju 5.3, moramo zato upoštevati, da so zasnovana za nečlenjen stavbni ovoj in ne zajemajo vpliva oblikovanja stavb. Kot smo prikazali v poglavju 5.4, lahko elementi, kot so lože, balkoni, konzole in izzidki, izrazito negativno vplivajo na doseženo osvetljenost prostorov in na količino prejetega sončnega sevanja na stavbnem ovoju. Priporočila je mogoče uporabiti na način, da se mejo stavbnega ovoja predvidi na zunanjem robu lož, balkonov in konzol, s čimer se meritev globine

primerno osvetljenega prostora opravi od tako postavljene meje. Na količino dnevne svetlobe v notranjih prostorih močno vplivajo tlorisne značilnosti večstanovanjskih stavb, kot sta razporeditev in globina prostorov. Prav tako sta za osvetljenost prostorov pomembna delež in razporeditev odprtih, namenjenih osvetlitvi.

Razkorak med priporočili, ki upoštevajo le urbanistične kazalce, in dejansko osvetljenostjo prostorov dobro ilustrira tipologija stolpiča, ki v priporočilih dosega najnižje gostote. V primerjavi z drugimi proučevanimi tipologijami je namreč pri tipologiji stolpiča več globljih prostorov umeščenih v vogale stavb, kar omogoča dvostransko postavitev oken in s tem vsaj teoretično boljše pogoje za naravno osvetljenost (slika 55). To pomeni, da lahko s pravilno arhitekturno zasnovo dosežemo višje gostote, pri čemer mejne gostote priporočil služijo le kot opozorilo, kdaj moramo arhitekturni zasnovi stavb nameniti dodatno pozornost.



**Slika 55:** Tlorisa stolpičev v večstanovanjskih zgradbah (a) Polje I in (b) Nove Poljane. Večina globljih prostorov (sivo) je dvostransko osvetljenih. Tloris je povzet po načrtih, prejetih od JSS MOL. Vir: lasten.

**Figure 55:** The floor plans of towers in residential developments (a) Polje I and (b) Nove Poljane. The majority of deeper rooms room, marked in grey, are illuminated from both sides. The floor plans are drawn according to plans received by JSS MOL. Source: author.

Podobno gre razumeti priporočilo, da naj bo zaradi višjih solarnih dobitkov ena od daljših stranic stavbe usmerjena proti jugu, še posebej pri linijskem vzorcu zidave, kjer je vpliv orientacije večji. To je izvedljivo pri tipologijah z dvostransko orientacijo stanovanj, kot sta koridorski blok z zunanjim hodnikom in lamelni blok. Pri koridorskem bloku orientacija ene stranice proti jugu povzroči veliko nesorazmerje med solarnimi dobitki posamičnih stanovanj, saj je polovica stanovanj ob severni stranici stavbe za solarne dobitke prikrajšana.

Pri orientaciji stavb je treba upoštevati tudi vpliv direktne osončenosti prostorov, ki je dokazano pozitiven (Evans, 2003), in ga delno upošteva tudi slovenska zakonodaja. Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (2011) predpisuje, da naravna osvetljenost bivalnih delov stanovanja z več kot štirimi ležišči ne sme biti zagotovljena izključno skozi odprtine, ki so orientirane v območju od severovzhodne do severozahodne smeri. Če želimo direktno

osončenost zagotoviti vsem stanovanjskim prostorom, v katerih podnevi preživimo veliko časa, je treba tako orientirati tudi posamične prostore, kot so kuhinja, jedilnica, dnevna soba in otroška soba (slika 56).



**Slika 56:** Tlorisi koridorskega bloka z zunanjim hodnikom (a), lamelnega bloka (b) in koridorskega bloka (c) s sivo označenimi bivalnimi prostori, ki bi bili v primeru orientacije ene od daljših stranic stavbe na jug prikrajšani za direktno osončenost. Vir: lasten.

**Figure 56:** The floor plans of a block with shared external horizontal access (a), shared internal horizontal access (b) and shared vertical access (c) with frequently used rooms marked in grey, which would be deprived of direct sunlight if one of the longer sides of the building faced south. Source: author.

Osončenost stavbnega ovoja, predvsem njegova svetlobna komponenta, je zelo stroga omejitev gostote, ki pa bi bila še strožja ob upoštevanju vpliva senčenja zaradi oblikovanja stavbe, kot so balkoni, nadstreški in lože. Izračunane maksimalne gostote, ki še omogočajo zadostno osvetljenost v pritličje umeščenih najglobljih, najnižjih in najožjih enostransko osvetljenih prostorov z najmanjšo odprtino, namenjeno osvetlitvi, ki jih dovoljuje Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011), so relativno nizke. Za doseganje višjih gostot zazidave glede na tlorisno površino bi bili potrebni višji deleži odprtin, namenjenih osvetlitvi, na fasadi in/ali plitvejše sobe. Ker je s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011) predpisani 20-odstotni delež odprtin glede na tlorisno površino stavbe med najvišjimi v EU – na Švedskem in Danskem znaša 10 %, na Poljskem, v Italiji in Nemčiji 12,5 % in v Franciji 17 % (Kunkel

et al., 2015) – je njegovo normativno povečanje malo verjetno, ob tem pa se pogosto izkaže, da je tudi zgolj povečevanje površine zasteklitve nezadosten ukrep za doseganje boljše naravne osvetljenosti. Kadar arhitekturna zasnova večstanovanjske stavbe predvideva največje dovoljene globine prostorov v pritličju, predstavljata edino preostalo možnost za izpolnjevanje priporočil standarda SIST EN 17037 o osvetljenosti razmeroma nizka FZ in FI. Čeprav splošni konsenz spodbuja gostoto kot načelo trajnosti, naše ugotovitve podpirajo spoznanje, da sta ustrezna gostota in tipologija zazidave odvisni od posebnih ciljev trajnosti, ki jih želimo doseči, (Ahmadian et al., 2019). Ugotovitev raziskave, da je osončenost pri enakem FI višja pri nižjih FZ, lahko na primer povzroči gradnjo višjih stavb z večjimi odmiki, kar lahko potencialno negativno vpliva na sociološki vidik trajnosti človekovega merila stanovanjskega okolja, specifično t. i. družbenega vidnega polja (Gehl, 2010). Zato je ugotovitve disertacije in iz njih izhajajoča priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave smiselno uporabljati v širšem kontekstu socioloških, okoljskih in ekonomskih vidikov trajnosti; torej kot vodilo pri načrtovalskih odločitvah, ki pa končnih rešitev ne definirajo dokončno.

Neposredna uporaba priporočil, na primer normativna določitev najvišjih FZ in FI za določene tipologije večstanovanjskih stavb, zaradi vpliva arhitekturne zasnove stavb na osončenost stavbnega ovoja ni mogoča. Ugotovitev, da pri večstanovanjskih zazidavah s  $FZ \geq 30\%$  in  $FI > 1-1,5$  za zagotovitev zadostne osvetljenosti prostorov v pritličju ni dovolj upoštevanje določil Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011), je mogoče uporabiti posredno. Tako bi lahko pri višjih gostotah dodatno predpisali obvezno preveritev osvetljenosti pritličnih prostorov večstanovanjskih stavb v skladu s standardom SIST EN 17037, na primer z dopolnitvijo Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). Predloge o optimizaciji urbanistične zasnove večstanovanjskih zazidav, kot so maksimalne gostote in priporočene postavitev pri določenih tipologijah, ter možne optimizacije arhitekturne zasnove stavb pri večstanovanjskih zazidavah, ki priporočene gostote presegajo, bi bilo mogoče vključiti v pravilnik o pripravi OPPN ali kot del pogojev in usmeritev za izdelavo konkretnega OPPN, ki so vključeni v OPN.

Priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav zaradi uporabe specifične vremenske datoteke, torej natančno določene geografske lokacije, in slovenske zakonodaje o geometriji najmanj osvetljene sobe, niso neposredno uporabna zunaj Slovenije. Kljub temu fleksibilnost metodološkega pristopa omogoča njegovo uporabo tudi v drugih državah. To še posebej velja za države članice EU, kjer veljajo priporočila SIST EN 17037 in imajo podobno zakonodajo oz. smernice v zvezi z minimalnimi površinami odprtih, namenjenih osvetlitvi, glede na tlorisno površino prostorov (Kunkel et al., 2015).

Glavni doprinosi disertacije so predstavljena metoda raziskave, ovrednotenje vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na osončenost stavbnega ovoja in opredelitev najvišjih dovoljenih vrednosti FI in FZ glede na doseženo raven naravne osvetljenosti notranjih prostorov.



Predstavljena metoda raziskave poveže zahteve o osvetljenosti prostorov v večstanovanjskih stavbah z značilnostmi urbanistične zasnove večstanovanjskih zazidav. Ovrednotenje vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na osončenost stavbnega ovoja omogoča določitev prioritete pri oblikovanju urbanističnih zasnov večstanovanjskih zazidav. Opredelitev najvišjih dovoljenih vrednosti FI in FZ glede na naravno osvetljenost notranjih prostorov poveže nasprotujoče si težnje po naravni osvetljenosti ter rabi obnovljivih virov energije na nivoju stavbe (torej načela socialne, ekonomske in okoljske trajnosti) s težnjami po doseganju višjih gostot večstanovanjske zazidave zaradi trajnostne rabe zemljišč (torej načela ekonomske in okoljske trajnosti).

»Ta stran je namenoma prazna«

## 7 SKLEP

Namen predložene disertacije je bil raziskati odnos med določenimi urbanističnimi kazalci in osončenostjo večstanovanjske zazidave. Želeli smo določiti vpliv stavbne tipologije, lege večstanovanjskih stavb, orientacije stavb glede na strani neba ter vpliv gostote zazidave glede na FZ in FI na osončenost stavbnega ovoja in osvetljenost notranjih stanovanjskih prostorov. Želeli smo ugotoviti, ali je za določitev maksimalne gostote zazidave bolj odločujoč vpliv svetlobnega ali energijskega vidika osončenosti, in na podlagi izvedenih analiz razviti priporočila, ki bi pripomogla pri optimizaciji urbanistične zasnove večstanovanjskih zazidav z vidika osončenosti stavbnega ovoja.

Z računalniškimi simulacijami prejetega sončnega sevanja in dnevne osvetljenosti fasad modelov večstanovanjskih zazidav v odprtem vzorcu zidave, oblikovanih na podlagi značilnosti reprezentativnih večstanovanjskih zazidav, smo raziskali odnos med značilnimi urbanističnimi kazalci ter energijsko in svetlobno komponento osončenosti večstanovanjske zazidave. Modeli skupin devetih stavb predstavljajo najpogosteje zastopane tipologije analiziranih večstanovanjskih zazidav, ki so lamelni blok, koridorski blok, koridorski blok z zunanjim hodnikom, stolpič in globoki stolpič. Razviti metodološki pristop povezuje FZ in FI večstanovanjskih zazidav, tipologijo in lego stavb z mejnimi vrednostmi za solarne dobitke skozi zastekljene površine ter mejnimi vrednostmi naravne osvetljenosti notranjih prostorov. Simulacije  $VD_{pov}$  smo izvedli za 360 variacij modelov, medtem ko so simulacije solarnega potenciala zajemale 2160 variacij modelov, ki so se poleg že naštetih urbanističnih kazalcev razlikovale še po orientaciji stranic stavb. Glavne ugotovitve raziskave so:

- Vpliv raziskanih urbanističnih kazalcev na osončenost fasadnega ovoja stavb je znaten, z močno negativno korelacijo med FI in  $VD_{pov}$  ter količino prejetega sončnega sevanja na enoto površine fasade.
- Količina prejetega sončnega sevanja in  $VD_{pov}$  se pri enakem FI manjšata z višanjem FZ. Vpliv FZ je večji pri višjih FI in tipologijah z manjšimi tlorisnimi gabariti stavb ter manjšimi odmiki med posamičnimi stavbami.
- Zamik lege stavb v smeri daljše ali krajše stranice omogoči boljšo osončenost osrednje stavbe modelov. Smer zamika je pomembnejša pri tipologijah linijskega vzorca zidave, ko zamik vzdolž daljše stranice večstanovanjske stavbe omogoči povečanje količine prejetega sončnega sevanja in  $VD_{pov}$  na fasadah. Tako kot pri FZ je pri enaki tipologiji stavb vpliv zamika stavb večji pri višjih FI in tipologijah z manjšimi tlorisi in manjšimi odmiki med stavbami.
- Izbrana tipologija stavb ima velik vpliv na obe komponenti osončenosti fasad, tako na energijsko kot na svetlobno. Količina prejetega sončnega sevanja in  $VD_{pov}$  na fasadi stavbe sta večja, ko so pri enakih drugih urbanističnih kazalcih tlorisna površina stavb in odmiki med njimi manjši.

Tipologije so od najbolj do najmanj osvetljenih fasad pritličja in 1. nadstropja stavb razvrščene, kot sledi: koridorski blok, globoki stolpič, lamelni blok, stolpič in koridorski blok z zunanjim hodnikom. Razvrstitev glede povprečne količine solarnih pritokov na enoto površine fasade je odvisna od orientacije stranic stavb glede na strani neba in FI. Pri orientaciji daljših stranic stavb proti severu in jugu in višjih FI je enaka tisti za osvetljenost fasad, medtem ko orientacija daljših stranic stavb proti vzhodu in zahodu povzroči primerjalno višje vrednosti pritokov na fasadah točkovnih stavb.

- Orientacija stranic stavbe glede na strani neba ima večji vpliv na osončenost linijskih tipologij večstanovanjske zazidave, kjer je razlika v površini fasad večja kot pri točkovnih tipologijah. Povprečna osončenost fasad je pri vseh variacijah modelov največja, ko je ena od daljših stranic stavbe orientirana na jug. Vpliv orientacije na povprečno količino prejetega sončnega sevanja na fasadi se manjša z višanjem FZ in FI.

- Primerjava vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na povprečno količino prejetega sončnega sevanja in osvetljenost fasade pritličja ter 1. nadstropja pri fiksnih vrednostih drugih urbanističnih kazalcev in  $FI = 1,6$  kaže, da je tako pri energijski kot svetlobni komponenti osončenosti najmanjši vpliv lege oz. zamika stavb. Na količino prejete sončne energije ima največji vpliv FZ, medtem ko je pri osvetljenosti najpomembnejši vpliv tipologije stavb. Vpliv orientacije stavb na prejeto količino sončnega sevanja je zmeren.

- Mejna vrednost na enoto površine fasade prejete sončne energije je v raziskavi določena kot količina sončne energije, prejete skozi zastekljeno odprtino, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi njo v času ogrevalne sezone, in znaša  $115,83 \text{ kWh/m}^2$ . Primerjava s pritoki sončne energije na fasadi osrednje stavbe modelov stanovanjskih zazidav v času ogrevalne sezone kaže, da jo ti presegajo v vseh 2160 preverjenih različicah. To pomeni, da je za določitev maksimalne gostote zazidave bolj odločujoč vpliv svetlobne komponente osončenosti. Mejna vrednost osvetljenosti fasad je bila opredeljena s povezavo minimalnega D na referenčni ravnini v sobi, ki ga določa standard SIST EN 17037, z  $VD_{pov}$  na fasadi iste sobe. Soba je bila zasnovana kot najgloblji, najnižji in najožji enostransko osvetljen prostor z najmanjšo odprtino, namenjeno osvetlitvi, ki ga dovoljuje Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). S primerjavo izračunanih mejnih  $VD_{pov}$ , ki omogočajo osvetljenost različnih globin sobe, z  $VD_{pov}$  na fasadah pritličja in 1. nadstropja osrednje stavbe 360 modelov, je bilo mogoče določiti mejne FZ in FI za posamične tipologije in postavitev stavb.

- Maksimalni vrednosti FZ in FI, pri katerih je zadostno osvetljena najgloblja, najnižja in najožja v pritličje umeščena soba z najmanjšo možno odprtino, dovoljena s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011), sta nizki. Najvišji FI dosega tipologija koridorskega bloka, in sicer med 1,2 pri  $FZ = 40 \%$  in 1,6 pri  $FZ =$

20 %. Najnižji FI dosega tipologija koridorskega bloka z zunanjim hodnikom; med 0,9 pri FZ = 30 % in 1,0 pri FZ = 20 %.

- Diagrama, oblikovana na podlagi mejnih vrednosti, prikazujeta ustrezno osvetljeno globino sobe v pritličju in 1. nadstropju osrednje stavbe modelov glede na FZ, FI ter tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav. Pokažeta, da primerno osvetljena globina sobe že pri FZ = 30 % in FI = 1–1,5, značilnih za izbrane tipologije, ne dosega maksimalne globine 7,5 m, določene s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). Pri večstanovanjskih zazidavah s FZ in FI, ki te vrednosti presegajo, je zato pomembno, da za doseganje primerne osvetlitve prostorov več pozornosti namenimo arhitekturni zasnovi stavb. Iz diagramov je mogoče razbrati natančne vrednosti FI in FZ posamičnih tipologij in leg stavb, pri katerih osvetljenost prostorov postane problematična, zaradi česar je treba zmanjšati globino prostorov oz. primerno naravno osvetlitev teh prostorov zagotoviti z drugimi posegi na nivoju arhitekturnega načrtovanja. V primeru, ko umestitev večjih odprtih in plitvejših stanovanj ni mogoča, je zaradi boljše dnevne osvetljenosti kot najnižjo stanovanjsko etažo bolje zasnovati prvo etažo stavbe in pritličje nameniti drugim funkcijam.

- Glede na ugotovitev, da je vpliv posamičnih urbanističnih kazalcev na svetlobno in energijsko komponento osončenosti podoben, sta diagrama z dodano navedbo, da je zaradi povečanja solarnih dobitkov prednostna orientacija daljših stranic stavbe proti severu in jugu, uporabna kot splošno priporočilo tako za optimizacijo osvetljenosti notranjih prostorov kot za povečanje solarnih dobitkov skozi odprtine na fasadi. V primeru uporabe za optimizacijo solarnih dobitkov moramo upoštevati, da priporočili ne predvidevata povečanja dobitkov glede na enoto površine tlorisa, temveč na enoto površine fasade. Pri preračunu solarnih dobitkov na enoto površine tlorisa so ti kljub nižjim dobitkom na enoto površine fasade večji pri tipologijah z manjšimi tlorisnimi gabariti, kot sta stolpič in koridorski blok z zunanjim hodnikom.

- Na izračun mejnih vrednosti osvetljenosti fasade močno vpliva izbira tipa zasteklitve in s tem povezane svetlobno-tehnične lastnosti. S spremembo tipa zasteklitve se spremenijo tako rezultati izračunov mejnih vrednosti  $VD_{pov}$  kot priporočili za optimizacijo večstanovanjskih zazidav glede na osvetljenost notranjih prostorov. Delitev izračuna na dva koraka omogoča hitro korekcijo z novim izračunom mejnih  $VD_{pov}$  na fasadi brez popravka izračuna  $VD_{pov}$  na modelih. Fleksibilnost metode pristopa omogoča uporabo tudi v drugih državah, predvsem v EU, v katerih veljajo določila standarda SIST EN 17037 in drugačna regulativa o geometriji in deležu odprtih, namenjenih osvetlitvi stanovanjskih prostorov.

Če povzamemo, smo izvedli vse cilje, zastavljene v uvodu doktorskega dela. Določili smo vpliv stavbnega tipa, lege večstanovanjskih stavb, orientacije stavb glede na strani neba in gostote zazidave glede na FZ ter FI na osončenost stavbnega ovoja in osvetljenost notranjosti stavbe. Na podlagi rezultatov raziskovanja smo oblikovali priporočila za načrtovanje večstanovanjskih zazidav v odprtem vzorcu zidave, povzeta v obliki dveh diagramov, ki prikazujeta maksimalne FI in FZ posameznih tipologij in lege stavb glede na zadostno osvetljeno globino sobe v pritličju in prvem nadstropju stavb.

Na podlagi pridobljenih rezultatov lahko prvo hipotezo:

'Gostota, tipologija in lega stavb večstanovanjske zazidave z odprtim vzorcem zidave imajo odločilen vpliv na osončenost stavbnega ovoja.'

za izbrane tipologije vsaj delno potrdimo, saj smo dokazali velik vpliv FZ, FI in tipologije stavb na obe komponenti osončenosti stavbnega ovoja, medtem ko imata orientacija in postavitve stavb manjši oz. zmeren vpliv.

Drugo hipotezo:

'Pri enakem faktorju izrabe večstanovanjske zazidave z odprtim vzorcem zidave je z variacijo faktorja zazidanosti, tipologije in lege stavb mogoče doseči različno osončenost stavbnega ovoja.'

smo z rezultati računalniških simulacij za izbrane tipologije z odprtim vzorcem zidave v celoti potrdili.

S tem smo odgovorili tudi na vsa zastavljena znanstvena vprašanja. Na osnovi analize rezultatov raziskave smo definirali povezavo med osončenostjo stavbnega ovoja in gostoto, tipologijo stavb ter postavitvijo večstanovanjske zazidave. Oblikovali smo priporočila za optimizacijo urbanističnih zasnov večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave z vidika svetlobne komponente osončenosti, ki so uporabna tudi kot priporočilo za optimizacijo energijske komponente osončenosti. Za določitev maksimalne gostote zazidave se je za bolj odločujočega izkazal vpliv svetlobne komponente osončenosti, saj so solarni dobitki pri vseh raziskanih modelih dosegli in presegli mejno vrednost minimalnih potrebnih solarnih dobitkov v času ogrevalne sezone.

Izsledki disertacije pomenijo pomemben doprinos k spoznanjem o boljši kvaliteti bivanja in optimizaciji rabe obnovljivih virov energije. Ker so izsledki in posledično priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav omejeni na tipološko in višinsko homogene večstanovanjske zazidave petih tipologij odprtega vzorca zidave, ki so bile prevladujoče med proučenimi primeri, bi pri nadaljnjem delu na tem področju razširitev nabora tipologij omogočila bolj celovit vpogled v razmerje med urbanističnimi kazalci in osončenostjo stavb. K razumevanju kompleksnosti osončenosti zazidav bi pripomogla tudi povezava vpliva urbanističnih kazalcev z arhitekturnim oblikovanjem stavb, ki

predstavlja pomemben dejavnik tako pri osvetljevanju prostorov z naravno svetlobo kot pri prejeti količini sončnega sevanja na fasadah.

»Ta stran je namenoma prazna«



## 8 POVZETEK

Nasprotujoče si zahteve po doseganju višjih gostot, ki sledijo smernicam trajnostnega načrtovanja mest, in rabi obnovljivih virov energije ter naravni osvetljenosti na nivoju stavbe, privedejo do nekonsistentnih usmeritev pri načrtovanju trajnostne večstanovanjske zazidave. Velike urbane gostote zaradi medsebojnega senčenja stavb pomenijo znižanje potenciala osončenja stavb, kar povzroči zmanjšanje potenciala za uporabo aktivnih sistemov izkoriščanja sončne energije in z njimi povezanih solarnih dobitkov ter naravne osvetljenosti prostorov. Količina prejetega sončnega sevanja in osvetljenost prostorov se preverjata v kasnejših fazah načrtovanja, ko so gostota zazidave in tipologija ter lega stavb že določeni, saj takšne simulacije zahtevajo veliko podrobnih podatkov, ki v zgodnjih fazah načrtovanja še niso določeni. Disertacija obravnava povezavo med določenimi kazalci urbanističnega načrtovanja in osončenostjo večstanovanjske zazidave. Definira vpliv stavbnega tipa, lege večstanovanjskih stavb, orientacije stavb glede na stran neba, faktorja zazidanosti in faktorja izrabe na količino prejetega sončnega sevanja in osvetljenosti na fasadi stavbe.

Raziskavo odnosa med osončenostjo stavbnega ovoja in različnimi urbanističnimi kazalci smo izvedli po korakih. Urbanistične kazalce smo določili na podlagi analize predhodnih raziskav. Z analizo izbranih primerov večstanovanjskih zazidav, zgrajenih pod okriljem Stanovanjskega sklada Republike Slovenije in Javnega stanovanjskega sklada Mestne občine Ljubljana med letoma 2001 in 2017, smo definirali njihove osnovne geometrične značilnosti. V nadaljevanju smo na podlagi najpogosteje zastopanih stavbnih tipologij, to je koridorskega bloka, lamelnega bloka, koridorskega bloka z zunanjim hodnikom, globokega stolpiča in stolpiča, oblikovali modele za simulacijo osončenosti. Sestavljeni so iz devetih identičnih stavb z enakimi medsebojnimi odmiki, pri čemer je osrednja stavba testni objekt, kar omogoči preveritev osončenosti ovoja najbolj osenčene stavbe v kontekstu enake okoliške zazidave, ki jo predstavlja osem zunanjih stavb.

Z združevanjem orodja za tridimenzionalno modeliranje Rhinoceros (McNeel Robert in Associates, 2017) z algoritemskim orodjem za modeliranje Grasshopper (Davidson, 2017) smo ustvarili tridimenzionalne modele večstanovanjskih zazidav in spreminjali njihove geometrične lastnosti. Simulacije naravne osvetljenosti in količine prejetega sončnega sevanja smo izvedli s pomočjo vtičnika za Rhinoceros DIVA-for-Rhino (Solemma LCC, 2019).

Pri analizi energijske komponente osončenosti stavbnega ovoja smo se osredotočili na sončni potencial fasad. Ker je uporaba aktivnih sistemov za izkoriščanje sončne energije na fasadah redka, smo preverjali količino prejete sončne energije na fasadi v času ogrevalne sezone, ko pasivni dobitki skozi odprtine, namenjene naravni osvetlitvi, pomembno doprinesejo k prihranku energije pri ogrevanju stavb. Z računalniškimi simulacijami za 2160 variant tipologije, FZ, FI, orientacije in lege stavb smo pridobili količine sončnega sevanja, prejetega na fasadah najbolj osenčenih, osrednjih stavb modelov. Primerjali

smo jih z minimalno količino sončne energije na enoto površine, prejete skozi zastekljeno odprtino v času ogrevalne sezone, ki je potrebna, da nadomesti toplotne izgube skozi njjo.

Kot podlago za določitev mejnih vrednosti osvetljenosti stavbnega ovoja stavb smo uporabili standard SIST EN 17037: Dnevna svetloba v stavbah, ki določa minimalna priporočila osvetljenosti notranjih bivalnih in drugih naseljenih prostorov z naravno svetlobo. Z računalniškimi simulacijami smo pridobili povprečne vrednosti vertikalnega faktorja dnevne svetlobe na fasadah osrednje stavbe 360 variacij modelov, ki se razlikujejo po FZ in FI ter tipologiji in legi stavb. Primerjali smo jih z minimalnimi vrednostmi vertikalnega faktorja dnevne svetlobe na fasadah, ki v skladu s SIST EN 17037 omogočajo zadostno osvetljenost najgloblje, najožje, najnižje in v najnižje nadstropje stavbe umeščene enostransko osvetljene sobe, ki jo dopušča slovenski Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011); in sicer sobe, široke 3,75 m, dolge 7,50 m in visoke 2,50 m.

Z medsebojno primerjavo vrednosti prejetega sončnega sevanja in  $VD_{pov}$  na fasadah smo določili vpliv posamičnih urbanističnih kazalcev na obe komponenti osončenosti. V skladu s predhodnimi raziskavami je analiza pokazala na močno negativno korelacijo med FI in  $VD_{pov}$  ter količino prejete sončne energije na fasadi. Pri enakih drugih urbanističnih kazalcih sta velika tako vpliv FZ kot tipologije, medtem ko je vpliv lege stavb manjši. Zamik stavb omogoči boljšo osončenost osrednje stavbe modelov, pri čemer je vpliv smeri zamika večji pri linijskem vzorcu pozidave. Količina prejetega sončnega sevanja in  $VD_{pov}$  na fasadi stavbe sta večja, ko so pri enakih drugih urbanističnih kazalcih tlorisna površina stavb in odmiki med njimi manjši, kar pomeni, da so boljše osončene fasade stavb z večjimi tlorisnimi gabariti in večjimi odmiki med stavbami. Primerjava količine prejetega sončnega sevanja pri različnih orientacijah stranic stavb modelov glede na smeri neba kaže, da je povprečna osončenost fasade največja, ko je daljša stranica stavbe orientirana proti jugu. Vpliv orientacije je večji pri tipologijah linijskega vzorca zidave. Vpliv urbanističnih kazalcev, FZ, tipologije in zamika stavb se veča z višanjem FI, medtem ko vpliv orientacije daljših stranic glede na smer neba z večanjem gostote zidave nekoliko pada.

Minimalna vrednost sončnega sevanja v času ogrevalne sezone, pri kateri ob zasteklitvi z najvišjo toplotno prehodnostjo, ki jo dovoljuje TSG-1-004: 2010,  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , solarni dobitki presegajo toplotne izgube, znaša  $115,83 \text{ kWh/m}^2$ . Primerjava s povprečnimi vrednostmi sončnega sevanja na fasadah osrednjih stavb modelov v obdobju ogrevalne sezone, pridobljenimi z računalniškimi simulacijami, je pokazala, da so slednje višje pri vseh preverjenih scenarijih. Zato smo za določitev maksimalne gostote posamičnih tipologij in postavitev večstanovanjskih zazidav uporabili mejne vrednosti  $VD_{pov}$ , ki še omogočajo zadostno osvetljenost najgloblje, najožje, najnižje in v najnižje nadstropje stavbe umeščene enostransko osvetljene sobe, dopustne s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). Ugotovljena maksimalna FZ in FI, pri katerih je najgloblja, najnižja in najožja pritlična soba z najmanjšo možno odprtino, namenjeno osvetlitvi, ki jo dovoljuje Pravilnik, zadostno osvetljena, sta nizka. Najvišji dovoljeni FI dosega

tipologija koridorskega bloka, in sicer med 1,2 pri FZ = 40 % in 1,6 pri FZ = 20 %; najnižji dovoljeni FI pa tipologija koridorskega bloka z zunanjim hodnikom, med 0,9 pri FZ = 30 % in 1,0 pri FZ = 20 %. Na podlagi mejnih FZ in FI za posamične tipologije smo izdelali diagrama, ki definirata ustrezno osvetljeno globino sobe v pritličju in 1. nadstropju osrednjih stavb modelov glede na FZ, FI ter tipologijo in postavitev večstanovanjskih zazidav. Diagrama sta zasnovana kot pripomoček za optimizacijo naravne osvetljenosti in osončenosti večstanovanjskih zazidav v zgodnjih fazah urbanističnega načrtovanja. Pri tem mejne vrednosti FI služijo kot neposredna omejitev gostote zazidave zaradi vpliva na osvetljenost notranjih prostorov, medtem ko razvrstitev stavb po tipologiji, FZ in legi pokaže tudi vpliv posamičnih kazalcev na količino prejete sončne energije na fasadi stavb. Iz diagrama osvetljenosti pritličij je razvidno, da že pri FZ = 30 % in FI = 1–1,5, ki sta značilna za izbrane tipologije, primerno osvetljena globina sobe večinoma ne dosega maksimalne globine 7,5 m, kot jo določa Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (2011). To pomeni, da je pri večstanovanjskih zazidavah z višjimi gostotami nujno dodatno pozornost nameniti arhitekturni zasnovi stavb, saj lahko le tako zagotovimo zadostno osvetljenost vseh prostorov.

V diskusiji smo izpostavili določene prednosti in omejitve uporabljene metode ter uporabnosti rezultatov raziskave. Izsledki raziskave in posledično priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav so omejeni na pet tipološko homogenih večstanovanjskih zazidav odprtega vzorca zidave, ki so bile med proučenimi primeri večstanovanjskih zazidav prevladujoče. Raziskani izbrani urbanistični kazalci ne zajemajo arhitekturne zasnove večstanovanjskih stavb, ki pomembno vpliva na osončenost večstanovanjskih stavb. Univerzalnost uporabe izsledkov disertacije je omejena tudi zaradi predvidevanj o lastnostih površin in zasteklitev, ki smo jih morali sprejeti kot vhodni podatek pri simulacijah osončenosti in določitvi mejnih vrednosti prejetega sončnega sevanja in osvetljenosti. Delitev metode na dva koraka – simulacijo osončenosti fasad v kontekstu okoliške zazidave in primerjavo rezultatov z mejnimi vrednostmi prejete količine sončnega sevanja in osvetljenosti – omogoča določeno fleksibilnost uporabe rezultatov vsakega koraka ter prilagoditev oz. oblikovanje drugačnih priporočil.

Izsledki disertacije pomenijo pomemben doprinos k spoznanjem o boljši kvaliteti bivanja in optimizaciji rabe obnovljivih virov energije. Opredelitev vpliva posamičnih urbanističnih kazalcev na energijsko in svetlobno komponento osončenosti stavbnega ovoja omogoča določitev prioritet pri oblikovanju urbanističnih zasnov večstanovanjskih zazidav. Priporočila za optimizacijo zasnove večstanovanjskih zazidav z odprtim vzorcem zidave glede na osončenost stavbnega ovoja definirajo najvišje dovoljene vrednosti FI in FZ glede na dosežene vrednosti naravne osvetljenosti notranjih prostorov in povežejo nasprotujoče si zahteve po naravni osvetljenosti ter rabi obnovljivih virov energije na nivoju stavbe z doseganjem višjih gostot večstanovanjske zazidave.

»Ta stran je namenoma prazna«

## 9 SUMMARY

Conflicting requirements for achieving higher densities as a paradigm of sustainable urban planning on one hand, and the use of renewable energy and daylighting at the building level on the other lead to different standpoints on planning sustainable multifamily housing developments. Higher densities intensify mutual shading of buildings and decrease the potential for active and passive use of solar energy and daylighting. The amount of received solar radiation and daylighting of buildings are typically investigated in the later planning stages, when the typology, density and layout of residential developments have already been defined, as such simulations require a considerable amount of detailed data about the design of the building; these data are not available in the early stages of the design process. The dissertation establishes a connection between certain urban planning indicators and the insolation of residential developments. It defines the influence that building typology, placement, orientation, site coverage and floor area ratio (FAR) have on the amount of received solar irradiation and daylight on the building facade.

The research into the relationship between the insolation of the building envelope and various urban indicators was carried out in steps. The selection of urban indicators was based on the analysis of previous research. The basic geometric characteristics of contemporary residential developments were defined after analyzing residential developments built under the auspices of the Housing Fund of the Republic of Slovenia and the City of Ljubljana's Public Housing Fund between the years 2001 and 2017. In the next step, we designed models for solar simulation consisting of nine identical buildings whose characteristics are based on the most commonly represented building typologies of the analyzed real-life contemporary residential developments: linear buildings with shared vertical access, linear buildings with shared interior horizontal access, linear buildings with shared exterior horizontal access, towers and wide towers. The models were comprised of nine identical buildings, set at equal distances, with the central one being the analysed building. This allowed us to investigate the insolation on the facade of a building, surrounded by eight identical buildings, representing the worst-case scenario.

Three-dimensional models of multi-family developments were created by combining the three-dimensional modeling tool Rhinoceros (McNeel Robert and Associates, 2017) with the algorithmic modeling tool Grasshopper (Davidson, 2017). The solar potential and daylighting simulations were performed using the Rhinoceros plug-in DIVA-for-Rhino (Solemma LCC, 2019).

In the analysis of solar irradiation on the building envelope, we focused on the solar potential of the facades. Since active solar energy systems are rarely used on facades, we established the amount of solar energy received on the facade during the heating season when passive solar gains through openings intended for daylighting can significantly contribute to the heating of buildings. By means of computer simulations for 2160 variations in typology, site coverage, FAR, layout and orientation, we obtained the amount of solar radiation received on the facade of the most shaded (central) building of the models.

We compared them to the minimum amount of solar energy per unit area received through the glazed opening during the heating season, which is needed to compensate for heat losses through this opening.

We used minimum requirements for the daylighting of occupied spaces set by the SIST EN 17037 Daylight in Buildings standard to establish minimum values for facade illuminance. Average vertical daylight factor values ( $VD_{avg}$ ) on the facades of the central buildings of 360 variations of models that differ in typology, placement, orientation, site coverage and floor area ratio (FAR) were obtained with computer simulations. They were compared to the minimum  $VD_{avg}$  values of the facade which allow for sufficient daylighting according to SIST EN 17037 of the deepest, narrowest and lowest one-sidedly daylit room, located on the lowest level of the building, permissible by the Slovenian Rules on Minimum Technical Requirements for the Construction of Apartment Buildings and Apartments (2011) (with floor plan dimensions  $3.75\text{ m} \times 7.50\text{ m}$  and the height  $2.50\text{ m}$ ).

The amount of solar radiation and  $VD_{avg}$  on the facades was compared, and the influence of individual urban indicators on both components of the insolation was determined. In line with previous research in this field, the analysis showed a strong negative correlation between FAR and  $VD_{avg}$  and the amount of solar radiation received on the facade. With other urban indicators remaining unchanged, the influence of FAR and typology of buildings on the irradiation and illumination of the facade is substantial, while the influence of the development layout is moderate. The offset in placement of buildings allows for better insolation of the central building of the models, with the influence of the direction of the offset being greater for linear buildings. With other urban indicators unchanged, the amount of received solar radiation and  $VD_{avg}$  on the building facade is higher when the floor area of buildings and distances between them are smaller, which means that the facades of buildings with larger floor areas and larger distances between buildings receive more sunlight. A comparison of the amount of received solar radiation for different orientations of the longer sides of the building shows that facade insolation is highest when one of the longer sides of the building faces south. The influence of orientation is greater for linear buildings. The influence of site coverage, building typology and layout increases with increasing FAR, while the influence of building orientation marginally decreases.

By calculating the irradiation threshold required to equate the energy balance between solar gains and heat losses through glazing with the highest thermal transmittance, permitted by the Slovenian guideline TSG-1-004: 2010,  $U = 1.1\text{ W/m}^2\text{K}$ , the global solar irradiation threshold  $115.83\text{ kWh/m}^2$  was defined. A comparison with the simulated average values of solar irradiation on the facades of the central buildings of the models during the heating season shows that the latter are higher in all examined scenarios. Therefore,  $VD_{avg}$  values which still allow for sufficient daylighting of the deepest, narrowest, and lowest one-sidedly daylit room with the smallest possible opening allowed by the Rules on Minimum Technical Requirements for the Construction of Apartment Buildings and Apartments (2011) were used to determine the maximum density of individual typologies and placements of buildings. The

determined maximum site coverage and FAR, at which the deepest, lowest and narrowest one-sidedly daylighted room with the smallest possible opening situated on the lowest level of a building allowed by the Rules is sufficiently daylighted, are low. The highest FAR values were for the typology of linear buildings with shared interior horizontal access, between 1.2 for 40% site coverage and 1.6 for 20% site coverage. The lowest FAR values were achieved for the typology of linear buildings with shared exterior horizontal access, between 0.9 for 30% site coverage and 1.0 for 20% coverage. The calculated maximum densities of individual typologies were summarised in the form of diagrams, showing adequately daylighted room depth on the ground floor and 1<sup>st</sup> floor depending on residential development typology, layout, site coverage and FAR. They were designed as recommendations for spatial planners, urban planners and architects to use in the early stages of planning to improve residential developments in regard to daylighting. Maximum FAR values function as a direct limitation of building density due to the influence on interior daylighting, while the classification of buildings by typology, site coverage and layout also shows the influence of individual urban indicators on the amount of solar energy received on building facades. The ground floor daylighting diagram shows that at site coverage 30% and FAR 1–1.5, which are typical for the selected typologies, the adequately daylighted room depth usually does not reach the maximum depth of 7.5 m, as defined by the Rules on Minimum Technical Requirements for the Construction of Apartment Buildings and Apartments (2011). This means that with multifamily housing developments with higher densities, it is necessary to pay additional attention to the architectural design of buildings, as only in this way can we ensure sufficient daylighting of all rooms.

In the discussion, we highlighted certain advantages and limitations of the method used and debated the applicability of the research results. The results of the research and consequently the recommendations for optimizing multifamily housing developments are limited to five typologically homogeneous multifamily housing developments of point and linear buildings, which were predominant among the studied examples. The selected urban indicators we used in the research do not include the architectural design of residential buildings, which significantly affects their insolation. Due to the assumptions about the properties of surfaces and glazing, which we had to accept as input data for the simulations of insolation and the determination of threshold values for solar irradiation and illumination, the universality of the use of results is limited. Dividing the method into two steps – first simulating the irradiation and illumination on facades in an urban context and then comparing the results with threshold values for both – allows for a certain flexibility of using the results of each step. The adjustments of inputs for each of the steps enables the creation of various recommendations for urban planning.

The results of the dissertation provide an important contribution to the knowledge about the better quality of living and the optimization of the use of renewable energy. Defining the influence of individual urban indicators on irradiation and illumination on building facades enables the determination of priorities in the urban design of multifamily housing developments. Recommendations for optimizing the design multifamily housing developments of point and linear buildings with respect to insolation of

the building envelope define the maximum allowable values of site coverage and FAR regarding the daylighting of the interior. They connect the conflicting requirements for daylighting and use of renewable energy in buildings to the attaining higher densities of multifamily housing developments.



---

## LITERATURA IN VIRI

Acosta, I., Navarro, J. in Sendra, J. J. 2014. Lighting design in courtyards: Predictive method of daylight factors under overcast sky conditions. *Renewable Energy*, 71 (oktober 2017): 243–254.

doi: 10.1016/j.renene.2014.05.020.

Ahmadian, E., Sodagar, B., Mills, G. et al. 2019. Sustainable cities: The relationships between urban built forms and density indicators. *Cities*. 95, 2019: 102382. doi: 10.1016/j.cities.2019.06.013.

Andersen, M., Gochenour, S. J. in Lockley, S. W. 2013. Modelling “non-visual” effects of daylighting in a residential environment. *Building and Environment*. 70: 138–149.

doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.018.

Beckers, B. in Rodríguez, D. 2009. Helping architects to design their personal daylight. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 5, 7: 467–477.

Berson, D. M., Dunn, F. A. in Takao, M. 2002. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science*. 295(RC191): 1070–1073.

Bevk, M. Soseska Polje\_Bevk Perovic arhitekti 2015\_foto Matija Bevk\_013.jpg. 2015. Slika z medmrežja. <https://www.odprtehiseslovenije.org/objekt/stanovanjska-soseska-polje-i-ii-in-iii/> (Pridobljeno 20. 4. 2020).

Bevk Perović arhitekti. 2011. Projektna dokumentacija – Stanovanjska sošeska Polje II, PID.

Bizjak Železnik, B. 2015. Kakovost bivanja v pritličnih stanovanjih večstanovanjskih stavb. *Urbani izziv*, posebna izdaja, št. 5 (2015): 88–97.

Boubekri, M. 2008. *Daylighting, architecture and health: building design strategies*. Amsterdam, Elsevier/ Architectural Press: 155 str.

Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J. et al. 2014. Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10, 6: 603–11.

doi: 10.5664/jcsm.3780.

Bournas, I. in Dubois, M. C. 2019. Daylight regulation compliance of existing multi-family apartment blocks in Sweden. *Building and Environment*. 150, marec 2019: 254–265.

doi: 10.1016/j.buildenv.2019.01.013.

Brown, M. J. in Jacobs, D. E. 2017. Residential Light and Risk for Depression and Falls: Results from the LARES Study of Eight European Cities. *Public Health Reports*. 126: 131–140.

doi: 10.1177/00333549111260s117.

Chatzipoulka, C., Compagnon, R. in Nikolopoulou, M. 2016. Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study. *Solar Energy*. 138: 53–66. doi: 10.1016/j.solener.2016.09.005.

Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., Compagnon, R. 2006. Urban Form, Density and Solar Potential. V *PLEA 2006 : clever design, affordable comfort : a challenge for low energy architecture and urban planning : 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006 : Conference Proceedings: I701–I706.

Choguill, Charles L. The search for policies to support sustainable housing. 2007. *Habitat International*, 31 (2007): 143–149. doi: 10.1016/j.habitatint.2006.12.

Compagnon, R. 2000. PRECis: Assessing the Potential for Renewable Energy in Cities - Solar and Daylight availability in urban areas; Final Technical Report. Fribourg: Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg: 47 str.

[http://raphael.compagno.home.hefr.ch/ref/PRECIS\\_EIF\\_FINAL.pdf](http://raphael.compagno.home.hefr.ch/ref/PRECIS_EIF_FINAL.pdf) (Pridobljeno 16. 6. 2019).

Compagnon, R. 2004. Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings*, 36, 4: 321–328. doi: 10.1016/j.enbuild.2004.01.009.

Čelik, M. 2002. Arhitekturni ali politični problem. *Arhitektov bilten*. 32, 155–156: 30–33.

Čerpes, I., Grohar, J., Perović, V., Vidic, A. 2019. Tipologija stavb. Ljubljana, Univerza v Ljubljani Fakulteta za arhitekturo: 137 str.

<https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Prostorski-red/Tipologija-stavb.pdf> (Pridobljeno 14. 2. 2020).

Čerpes, I., Blejec, G. in Koželj, J. 2008. Urbanistično načrtovanje: raba prostora, tipologija stanovanjske gradnje, promet, parcelacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 216 str.

Čok, G. 2014. Residential Buildings and Sustainable Development in Slovenia. *Prostor: znanstveni časopis za arhitekturo i urbanizam*. 22, 1: 134–147.

Darula, S., Christoffersen, J. in Malikova, M. 2015. Sunlight and insolation of building interiors. *Energy Procedia*. 78: 1245–1250. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.266.

Davidson, S. 2017. Grasshopper: aplikacija.

Davis, S., Kaune, W. T., Mirick, D. K. 2001. Residential magnetic fields, light-at-night, and nocturnal urinary 6-sulfatoxymelatonin concentration in women. *American Journal of Epidemiology*. 154, 7: 591–600. doi: 10.1093/aje/154.7.591.

Degree Days. 2020. <https://www.degree-days.net/> (Pridobljeno 14. 2. 2020).

Dimitrovska Andrews, K. 1998. The influence of housing policy on housing typology: Ljubljana case study. V Černič Mali, B., Dimitrovska Andrews, K., Turner, B. (ur.) Conference proceedings / International Conference Housing in Transition, Piran, Slovenia, 3–5 September 1997. Ljubljana, Urbanistični inštitut Republike Slovenije: p. 285–300.

Dimitrovska Andrews, K. 2006. Urbanistično-arhitekturna dimenzija kakovosti stanovanja in stanovanjskega okolja. V Mandič, S. in Cirman, A. (ur.) Stanovanje v Sloveniji 2005. Ljubljana, Fakulteta za družbene vede: p. 109–133.

Direktiva 2010/31/EU evropskega parlamenta in sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb. Uradni list Evropske unije 2010/153: 13–33.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031> (Pridobljeno 14. 7. 2019).

Dovjak, M. in Kukec, A. 2019. Creating Healthy and Sustainable Buildings. Cham, Springer Open: 160 str. doi: 10.1007/978-3-030-19412-3.

EEA, The European Environment Agency. 2020.

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/heating-degree-days-2> (Pridobljeno 14. 2. 2020).

EnergyPlus. 2019. <https://energyplus.net/weather> (Pridobljeno 12. 8. 2019).

EU, European Union, European Commission. 2007. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions of 22 November 2007 entitled: "A European strategic energy technology plan (SET Plan) - Towards a low carbon future".

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52007DC0002&from=PL> (Pridobljeno 3. 6. 2020).

EU, European Union, European Commission, Directorate-General for Regional Policy. 2011. Cities of tomorrow : challenges, visions, ways forward. Luxemburg, Publications Office of the European Union: 100 str. doi: 10.2776/41803.

EU, European Union. European Commission. Directorate-General for Energy. 2019. Energy in Figures Statistical Pocketbook 2019. Luxemburg, Publications Office of the European Union: 260 str. doi: 10.2833/963512. [https://www.euneighbours.eu/sites/default/files/publications/2019-09/MJAB19001ENN.en\\_.pdf](https://www.euneighbours.eu/sites/default/files/publications/2019-09/MJAB19001ENN.en_.pdf) (Pridobljeno 18. 3. 2020)

Evans, G. W. 2003. The Built Environment and Mental Health. *Journal of Urban Health*. 80, 4: 536–555. doi: 10.1093/jurban/jtg063.

Gašperšič, T. 2019. Prošnja za posredovanje podatkov – doktorska disertacija. Elektronsko sporočilo za Šprah, N. 29. 5. 2019. Osebna komunikacija.

- Gehl, J. 2010. *Cities for People*. Washington (DC); Covelo; London, Island Press: 269 str.
- Gropius, W. 1965 *The New Architecture and the Bauhaus*. Cambridge, Massachusetts, The M.I.T. Press: 94 str.
- Hajdinjak, R. 2009. *Gradimo s steklom*. Gornja Radgona, Reflex d.o.o.: 367 str.
- Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L. 2014. *Resource efficiency in the building sector: Final report*. Rotterdam, Ecorys: 124 str.  
[http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource efficiency in the building sector.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource_efficiency_in_the_building_sector.pdf) (Pridobljeno 3. 2. 2020).
- Heisler, G.M. 1986. Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. *Urban Ecology*. 9, 3–4: 337–359. doi: 10.1016/0304-4009(86)90008-2.
- CIE, International Commission on Illumination. *Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky*. 2020. <http://cie.co.at/publications/spatial-distribution-daylight-cie-standard-general-sky> (Pridobljeno 1. 6. 2020).
- IEV, International Electrotechnical Vocabulary. 2020. <http://www.electropedia.org> (Pridobljeno 4. 8. 2020).
- IPOP, Inštitut za politike prostora. 2020. <https://ipop.si/urejanje-prostora/izrazje/soseska-in-sosedstvo/> (Pridobljeno 7. 8. 2020).
- Iversen, A. 2013. *Development of a Simple Framework To Evaluate Daylight Conditions in Urban Buildings in the Early Stages of Design*. Doktorska disertacija. Lyngby, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering (samozaložba A. Iversen): 150 f.
- Iversen, A., Nielsen, T. R. in Svendsen, S. H. 2011. Illuminance level in the urban fabric and in the room. *Indoor and Built Environment*. 20, 4: 456–463. doi: 10.1177/1420326X11409460.
- Kambič, M. BRDO\_OHS4.jpg. 2014. Slika z medmrežja.  
<https://www.odprtehiseslovenije.org/objekt/stanovanjska-soseska-zeleni-gaj-na-brdu/> (Pridobljeno 20. 4. 2020).
- Kambič, M. Bevk-Perović.-Housing-Dolgi-most-.Ljubljana-12-1200x800.jpg. 2016. Slika z medmrežja. <https://afasiaarchzine.com/2016/11/bevk-perovic-8/bevk-perovic-arhitekti-housing-ob-progi-ljubljana-2016-9/> (Pridobljeno 20. 4. 2020).
- Kanters, J., Wall, M. in Dubois, M. C. 2014. Typical values for active solar energy in urban planning. *Energy Procedia*. 48:1607–1616. doi: 10.1016/j.egypro.2014.02.181.

- 
- Kim, H. J. 2016. A design methodology for perimeter block housing considering day-lit environments and energy performance. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 15(3): 389–396. doi: 10.3130/jaabe.15.389.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R. et al. 2001. The National Human Activity Pattern Survey. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 11, 3: 231–252. doi: 10.1038/sj.jea.7500165 T4 - A resource for assessing exposure to environmental pollutants Y3 - 20/2/2017 U6 - 10.1038/sj.jea.7500165 M4 - Citavi.
- Koselj, N. 1995. *Arhitektura 60-ih let v Sloveniji: kontinuiteta ideje*. Ljubljana, AB: arhitektov bilten, posebna izdaja: 226 str.
- Košir, M., Capeluto, I. G., Krainer, A., Kristl, Ž. 2014. Solar potential in existing urban layouts-Critical overview of the existing building stock in Slovenian context. *Energy Policy*. 69, 2014: 443–456. doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.045.
- Košir, M. 2019. *Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change*. Cham, Springer Nature: 256 str. doi: 10.1007/978-3-030-18456-8.
- Košir, M., Dovjak, M. in Kristl, Ž. 2015. Solar Potential in the Existing Slovenian Building Stock. V *Conference Proceedings EuroSun 2014, Aix-les-Bains (France), 16–19 September 2014*. International Solar Energy Society: 1–10. doi: 10.18086/eurosun.2014.18.04.
- Košir, M., Krainer, A. in Kristl, Ž. 2012. Analiza osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010. *Gradbeni vestnik*. 61, 8: 183–193.
- Krainer, A., Kristl, Ž. in Zabret, L. 2005. *PIRAMIDA: aplikacija*. Ljubljana, UL FAGG.
- Kristl, Ž. in Krainer, A. 2001. Energy evaluation of urban structure and dimensioning of building site using iso-shadow method. *Solar energy*. 70, 1: 23–34. doi: 10.1016/S0038-092X(00)00113-4.
- Kristl, Ž. in Krainer, A. 2006. Solar Planning for Suburban Areas. V Burek, S. (ur.). *EuroSun 2006, Glasgow, UK, 27–30 June 2006 Conference Proceedings*. Glasgow, Abingdon, International Solar Energy Society: 1–9.
- Kristl, Ž. in Krainer, A. 2007. Določanje vplivnega območja s sončno ovojnico. *Gradbeni vestnik*, 56, 6: 156–163.
- Kunič, R. 1990. *Računalniški program za analizo osončenja objektov in naravne osvetlitve prostorov: aplikacija*. Ljubljana, UL FAGG.
- Kunkel, S., Kontonasiou, E., Acipowska, A., Mariottini, F., Atanasiu, B. 2015. Indoor air quality, thermal comfort and daylight: Analysis of residential building regulations in eight EU member states. *Bruselj, Buildings Performance Institute Europe*: 100 str.

- Lee, J., Boubekri, M. in Liang, F. 2019. Impact of building design parameters on daylighting metrics using an analysis, prediction, and optimization approach based on statistical learning technique. *Sustainability (Switzerland)*. 11, 5: 1474. doi: 10.3390/su11051474.
- Lestan, K. A., Goličnik, B., Eržen, I., Golobič, M. 2013. Odprti prostor stanovanjskih naselij povečuje kakovost grajenega. *IB revija*. 47, 1: 41–55.
- Li, D. H. W., Cheung, G. H. W., Cheung, K. L., Lam, J. C. 2009. Simple method for determining daylight illuminance in a heavily obstructed environment. *Building and Environment*. 44, 5: 1074–1080. doi: 10.1016/j.buildenv.2008.07.011.
- Lobaccaro, G., Carlucci, S., Croce, S., Paparella, R., Finocchiaro, L. 2017. Boosting solar accessibility and potential of urban districts in the Nordic climate: A case study in Trondheim. *Solar Energy*. 149: 347–369. doi: 10.1016/j.solener.2017.04.015.
- López-Ordóñez, C. F., Roset, J. and Rojas-Cortorreal, G. 2017. Análisis de la radiación solar directa en las calles de Barcelona, en base a la relación entre su morfología y vegetación. *Architecture, City and Environment*. 12, 34: 45–68. doi: 10.5821/ace.12.34.4708.
- Malešič, M. 2015. Nastanek in rast ljubljanskih stanovanjskih sosesk. *Arhitektov bilten: AB: mednarodna revija za teorijo arhitekture*. 45, 203/204: 63–66.
- Marsh, A. *Web-cie-std-gen-skies.jpg*. 2018. Slika z medmrežja. <http://andrewmarsh.com> (Pridobljeno 27. 5. 2020).
- Martin, L. in March, L. 1972. *Urban Space and Structures*. Cambridge, Cambridge University Press: 282 str.
- Merriam-Webster Dictionary. 2020. <https://www.merriam-webster.com> (Pridobljeno 29. 7. 2020).
- McNeel, R. et. al. 2017. *Rhino Version 5.0: aplikacija*.
- Mihelič, B., Humar, M. in Nikšič, M. 2016. *Urbanistični terminološki slovar*. Ljubljana, založba ZRC. <https://isjfr.zrc-sazu.si/sl/terminologisce/slovarji/urbanisticni> (Pridobljeno 29. 7. 2020).
- Mihelič, M. in Gaberščik, B. (ur.). 1956. *Razstava Stanovanje za naše razmere: Gospodarsko razstavišče*, od 26. V. do 3. VI. 1956. Ljubljana, Propagandni oddelek Gospodarskega razstavišča: 24 str.
- Miklavčič, T. (ur.), Fonda, M., Zavodnik Lamovšek, A., Pogačnik, A., Foški, M., Drobne, S., Golobič, M., Marot, N., Hudoklin, J., Hočevar, I. *Poročilo o prostorskem razvoju*. 2016. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Direktorat za prostor, graditev in stanovanja: 134 str. [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostorski\\_razvoj/proocilo\\_o\\_prostorskem\\_razvoju.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostorski_razvoj/proocilo_o_prostorskem_razvoju.pdf) (Pridobljeno 14. 9. 2020).

Miklič E. 2019. Neprofitna stanovanja v SLO. Elektronsko sporočilo za Šprah, N. 2. 8. 2019. Osebna komunikacija.

Montavon, M., Steemers, K., Cheng, V., Compagnon, R. 2006. “La Ville Radieuse” by Le Corbusier once again a case study. V Compagnon, R. (ur.), Haeflerli, P. (ur.), Weber, W. (ur.). PLEA 2006: clever design, affordable comfort: a challenge for low energy architecture and urban planning: 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006: conference proceedings. <http://web5.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/edward/www/plea2018/plea/2006/index.html> (Pridobljeno 12. 3. 2018).

Montavon, M. 2010. Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Potential. Doktorska disertacija. Lausanne, École polytechnique fédérale de Lausanne (samozaložba M. Montavon): 255 f.

Mrdaljevic, J. 1995. Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. *International Journal of Lighting Research and Technology*. 27, 4: 181–188.

Nasrollahi, N. in Shokri, E. 2016. Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 66: 861–874.  
doi: 10.1016/j.rser.2016.08.052.

Natanian, J. in Auer, T. 2018. Balancing urban density, energy performance and environmental quality in the Mediterranean: A typological evaluation based on photovoltaic potential. *Energy Procedia*. 152: 1103–1108. doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.133.

Nault, E., Peronato, G., Rey, E., Andersen, M. 2015. Review and critical analysis of early-design phase evaluation metrics for the solar potential of neighborhood designs. *Building and Environment*. 92: 679–691. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.05.012.

Nault, E., Rey, E. in Andersen, M. 2013. Early design phase evaluation of urban solar potential: Insights from the analysis of six projects. V Wurtz, E. (ur.). *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26–28*. IBPSA: 177–184.

Nicholson S.E.. 1975. A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment*. 9, 19–31.

Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – izvedbeni del. Uradni list RS, št. 78/2010: 11441–11873.

Odlok o strategiji prostorskega razvoja Slovenije (OdSPRS). Uradni list RS, št. 76/2004: 9217–9277.

Odlok o ustanovitvi stanovanjskega sklada ljubljanskih občin. Uradni list RS, št. 20/1992: 1606–1608.

Okeil, A. 2010. A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and Buildings*. 42, 9: 1437–1444. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.03.013.

Ovsenik-Jeglič, T.; Mekinda-Majaron, T. 2002. *Klimatografija Slovenije: Stopinjski dnevi in trajanje kurilne sezone*. Agencija RS za okolje – Urad za meteorologijo.

[http://www.arso.gov.si/vreme/porocila\\_in\\_projekti/drzavna\\_sluzba/Stopinjski\\_dnevi\\_in\\_trajanje\\_kurilne\\_sezone.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/porocila_in_projekti/drzavna_sluzba/Stopinjski_dnevi_in_trajanje_kurilne_sezone.pdf) (Pridobljeno 9. 12. 2019).

Perez, R., Seals, R. in Michalsky, J. 1993. All-weather model for sky luminance distribution—Preliminary configuration and validation. *Solar Energy*. 50, 3:235–245.

doi: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90017-I](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90017-I).

Pirkovič-Kocbek, J. 1982. *Izgradnja sodobnega Maribora – mariborska arhitektura in urbanizem med leti 1918 in 1976*. Ljubljana, Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, Partizanska knjiga: 100 str.

Planišček, A. 2010. Razvoj stanovanjske gradnje v Sloveniji. V Cimolini, M., Čelik, M., Planišček, A. *Stanovanjske ne/politike: razstava stanovanjske arhitekture med 2000–2010 : Hiša arhitekture*, 22. april – 14. maj 2010. Ljubljana, Zbornica za arhitekturo in prostor Slovenije: 14 str.

Pogačnik, A. 1999. *Urbanistično planiranje: univerzitetni učbenik*. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Tiskarna Ljubljana: 252 str.

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS, št. 1/2011: 133–136.

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES). Uradni list RS, št. 52/2010: 7840–7848.

Rahman, S. A., St. Hilaire, M. A. in Lockley, S. W. 2017. The effects of spectral tuning of evening ambient light on melatonin suppression, alertness and sleep. *Physiology & Behavior*. 177: 221–229.

doi: 10.1016/j.physbeh.2017.05.002.

Ratti, C., Raydan, D. in Steemers, K. 2003. Building form and environmental performance: Archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*. 35, 1: 49–59.

doi: 10.1016/S0378-7788(02)00079-8.

Reflex d.o.o. 2020. <http://www.reflex.si/si/steklo/toplotna-zascita> (Pridobljeno 14. 2. 2020).

Reinhart, C., Dogan, T., Jakubiec, A., Rakha, T., Sang, A. 2013. UMI - an urban simulation environment for building energy use, daylighting and walkability. V Wurtz, E. (ur.). *13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association (Building Simulation 2013)* Chambéry, Francija, 26-28 avgust. ZDA, International Building Performance Simulation Association: p. 476–483.



---

Reinhart, C. F. in Herkel, S. 2000. The simulation of annual daylight illuminance distributions—a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. *Energy and Buildings*. 32, 2: 167–187. doi: 10.1016/S0378-7788(00)00042-6.

Reinhart, C. F. in Walkenhorst, O. 2001. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*. 33, 7: 683–697. doi: 10.1016/S0378-7788(01)00058-5.

Resolucija o nacionalnem stanovanjskem programu 2015–2025 (ReNSP15–25). Uradni list RS, št. 15/1992: 2085–2088.

Rey, A.-A., Pidoux, J. in Barde, C. 1928. *La science des plans des villes. Ses applications à la construction, à l'extension, à l'hygiène et à la beauté des villes. Orientation solaire des habitations.* Lausanne-Paris, Payot-Dunod: 495 str.

Robinson, D. in Stone, A. 2004. Irradiation modelling made simple: the cumulative sky approach and its applications. V De Wit, M.H. (ur.). *PLEA2004 - The 21st Conference on Passive and Low energy Architecture*. Eindhoven, Nizozemska, 19.–22. September 2004. Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven: p. 19–22.

Rohli, R. V. in Vega, A. J. 2018. *Climatology*. 4 izdaja. Burlington, Jones & Bartlett Learning: 418 str.

Schweizer, C., Edwards, R. D., Bayer-Oglesby, L., Gauderman, W. J., Ilacqua, V., Juhani Jantunen, M., Lai, H. K., Nieuwenhuijsen, M., Künzli, N. 2007. Indoor time-microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 17, 2: 170–181. doi: 10.1038/sj.jes.7500490.

SIST EN 17037:2019. Dnevna svetloba v stavbah.

Skalicky Klemenčič, V., Čerpes, I. 2019. Influence of structural changes in politics and the economy on the quality and integrity of residential environments in Slovenia: Maribor case study. *Prostor: znanstveni časopis za arhitekturo i urbanizam*. 27, 2(58): 237–247. doi: 10.31522/p.27.2(58).4

Smolnicki, P. '10-05-25 16h 57m 16s 650 Apartments Mesarska cesta Ljubljana Slovenia.JPG. 2010. Slika z medmrežja. <https://www.flickr.com/photos/piotrsmolnicki/4667282990/in/photostream/> (Pridobljeno 20. 4. 2020).

Solemnia LCC. 2019. DIVA-for-Rhino 4.0: aplikacija.

Splošni zakon o stanovanjski skupnosti. Uradni list FLRJ, št. 16/59.

Stanovanjski sklad Republike Slovenije. 2016. Poslovna politika 2017–2020. [https://ssrs.si/wp-content/uploads/2017/10/Poslovna\\_politika\\_2017-\\_2020-2.pdf-2.pdf](https://ssrs.si/wp-content/uploads/2017/10/Poslovna_politika_2017-_2020-2.pdf-2.pdf) (Pridobljeno 3. 3. 2020).

SSKJ, Slovar slovenskega knjižnega jezika, 2., dopolnjena in deloma prenovljena izd., elektronska objava. 2014. Ljubljana, Cankarjeva založba.

<http://www.fran.si/iskanje?FilteredDictionaryIds=130&View=1&Query=%2A>. (Pridobljeno 29. 7. 2020).

Stanovanjski zakon. Uradni list RS št. 18/1991: 589–603.

Steadman, P. 2018. Lionel March: 1934–2018. *ARQ: Architectural Research Quarterly*. 22, 2: 100–103. doi: 10.1017/S1359135518000362.

Strømman-Andersen, J. in Sattrup, P. A. 2011. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*. 43, 8: 2011–2020. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.04.007.

Sundborg, B., Szybinska Matusiak, B., Arbab, S. 2019. Perimeter blocks in different forms - Aspects of daylight and view. V Passer, A. (ur.): BE19 Graz: transition towards a net zero carbon built environment: conference proceedings / Sustainable built environment D-A-CH conference 2019, 11–14 September 2019, Graz, Austria. IOP conference series, Earth and environmental science: 323 str. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012153> (Pridobljeno 16. 9. 2020).

Štritof-Brus, M. 2019. Prošnja za pridobitev podatkov za doktorsko disertacijo. Elektronsko sporočilo za Šprah, N. 18. 7. 2019. Osebna komunikacija.

Tehnična smernica TSG-1-001:2019. Požarna varnost v stavbah.

[https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Graditev/TSG\\_1\\_001\\_2019\\_pozarna\\_varnost.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Graditev/TSG_1_001_2019_pozarna_varnost.pdf) (Pridobljeno 1. 4. 2020).

TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije.

[http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004\\_2010.pdf](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno 1. 4. 2020).

Tregenza, P. in Mardaljevic, J. 2018. Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer. *Lighting Research and Technology*. 50, 1: 63–79. doi: 10.1177/1477153517740611.

Uredba o prostorskem redu Slovenije. Uradni list RS, št. 122/2004: 14702 – 14725.

Vardoulakis, S. et al. 2003. Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment*. 37, 2: 155–182. doi: 10.1016/S1352-2310(02)00857-9.

Ward Larson, G. in Shakespeare, R. 1998. *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization*. San Francisco, Morgan Kaufman Publishers: 690 str.

WCED, World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. 1987. Oxford, Oxford University Press: 383 str.

Yi, Y., Ma, S., Guan, W., Li, K. 2017. An empirical study on the relationship between urban spatial form and CO<sub>2</sub> in Chinese cities. *Sustainability (Switzerland)*. 9, 4: 1–12. doi: 10.3390/su9040672.

Zakon o regionalnem prostorskem planiranju. Uradni list SRS, št. 16/1967: 284–285.

Zakon o urbanističnem planiranju. Uradni list SRS, št. 16/1967: 285–291.

Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2). Uradni list RS, št. 61/2017: 8254 – 8310.

Zbašnik-Senegačnik, M. in Kresal, J. 2007. Fasadni ovoj : raziskava. *AR: arhitektura, raziskave*. 2 (2007): 72–73.

Zavodnik Lamovšek, A. in Brusnjak Hrastar, M. 2017. Zgoščevanje stanovanjskih območij in zagotavljanje novih stanovanj. *Urbani izziv*. 7: 117–121.

Zupančič, B. 2000. (Stanovanjska) arhitektura v tržnih pogojih: denar, tržni pogoji in menedžment v arhitekturi. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo (samozaložba B. Zupančič): 223 f.

Zhang, J., Heng, C. K., Malone-Lee, L. C., Huang, Y. C., Janssen, P., Jun, D., Hii, C., Nazim, I. 2012. Preliminary Evaluation of a Daylight Performance Indicator for Urban Analysis: Facade Vertical Daylight Factor Per Unit Floor Area. V *Proceedings of SimBuild conference in Wisconsin, USA, August 1-3, 2012*. IBPSA-USA: p. 638–646.

»Ta stran je namenoma prazna«

**Priloga A: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 30° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>2</sub> 1A	K <sub>2</sub> 1B	K <sub>2</sub> 1C
3	0,6	281,67	283,13	281,58	278,54	280,65	278,41	282,92	284,15	282,93
4	0,8	278,84	280,89	278,74	273,71	277,01	273,59	280,77	282,41	280,69
5	1,0	275,34	278,20	275,25	268,36	272,49	268,11	278,30	280,55	278,15
6	1,2	271,54	275,12	271,28	262,94	268,00	262,60	275,42	278,29	275,22
7	1,4	267,50	271,64	267,30	257,32	263,23	257,00	272,29	275,70	272,02
8	1,6	263,46	268,18	263,11	251,73	258,53	251,45	268,99	272,97	268,72
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>2</sub> 2A	K <sub>2</sub> 2B	K <sub>2</sub> 2C
3	0,9	273,46	276,28	273,73	265,93	270,13	266,14	276,68	278,83	276,82
4	1,2	266,24	270,33	266,58	255,66	261,31	255,95	271,28	274,47	271,54
5	1,5	258,58	263,77	258,99	245,15	252,36	245,69	265,26	269,51	266,00
6	1,8	250,82	257,13	251,15	234,93	243,64	235,74	258,97	264,04	259,14
7	2,1	243,07	250,44	243,64	225,70	235,61	226,41	252,51	258,55	252,90
8	2,4	235,51	244,04	236,37	217,14	227,98	218,08	246,05	253,21	246,53
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>2</sub> 3A	K <sub>2</sub> 3B	K <sub>2</sub> 3C
3	1,2	260,09	264,12	264,12	247,00	252,45	248,27	266,53	269,52	267,26
4	1,6	247,18	252,74	252,69	230,05	237,33	231,85	256,32	260,67	257,19
5	2,0	234,43	241,43	241,46	214,66	223,44	216,80	245,68	251,24	246,98
6	2,4	222,48	230,70	230,64	201,06	211,16	203,71	235,20	241,99	236,82
7	2,8	211,52	220,89	220,80	189,14	200,34	192,28	225,16	232,99	227,08
8	3,2	201,58	211,87	211,90	178,65	190,86	182,29	215,81	224,74	218,10
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>2</sub> 4A	K <sub>2</sub> 4B	K <sub>2</sub> 4C
3	1,5	239,80	243,98	241,72	223,89	223,84	220,79	250,53	253,74	251,87
4	2,0	220,62	226,10	223,15	202,51	202,55	198,86	234,17	238,56	236,12
5	2,5	203,53	210,05	206,75	184,58	184,73	180,87	218,68	224,06	221,09
6	3,0	188,59	195,95	192,35	169,59	169,84	165,90	204,64	210,93	207,67
7	3,5	175,62	183,65	180,08	156,97	157,37	153,63	192,11	199,03	195,55
8	4,0	164,20	172,95	169,35	146,28	146,88	143,31	180,85	188,45	184,80

**Priloga B: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 60° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>2</sub> 1A	K <sub>2</sub> 1B	K <sub>2</sub> 1C
3	0,6	289,46	290,53	289,19	286,90	288,56	286,81	290,95	291,88	290,86
4	0,8	286,70	288,14	286,39	282,17	284,89	281,79	288,86	290,25	288,78
5	1,0	283,14	285,45	282,92	276,79	280,49	276,37	286,37	288,08	286,21
6	1,2	279,27	282,27	278,92	270,88	275,99	270,44	283,46	285,89	283,27
7	1,4	275,12	278,84	274,74	265,17	271,08	264,47	280,34	283,43	280,14
8	1,6	270,85	275,59	270,41	259,01	266,32	258,47	276,98	280,65	276,63
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>2</sub> 2A	K <sub>2</sub> 2B	K <sub>2</sub> 2C
3	0,9	281,23	283,63	281,36	274,28	278,10	274,45	284,75	286,71	284,92
4	1,2	273,91	277,74	274,18	263,66	269,19	263,77	279,41	282,25	279,56
5	1,5	266,17	271,17	266,26	252,62	260,01	252,67	273,29	277,33	273,47
6	1,8	258,01	264,39	258,14	241,67	250,86	241,96	266,80	271,90	266,96
7	2,1	249,71	257,48	249,95	231,47	242,37	231,81	260,08	266,36	260,23
8	2,4	241,74	250,79	242,09	222,15	234,43	222,58	253,25	260,55	253,45
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>2</sub> 3A	K <sub>2</sub> 3B	K <sub>2</sub> 3C
3	1,2	267,79	271,38	271,51	254,89	260,22	255,79	274,55	277,55	275,27
4	1,6	254,43	260,07	260,00	236,92	244,36	238,25	264,26	268,49	265,10
5	2,0	241,00	248,25	248,27	220,22	229,73	221,84	253,22	258,92	254,21
6	2,4	228,16	237,05	236,90	205,50	216,74	207,61	242,18	249,21	243,39
7	2,8	216,26	226,63	226,65	192,55	205,27	195,17	231,40	239,73	232,83
8	3,2	205,58	217,25	217,09	181,32	195,43	184,36	221,33	230,96	223,08
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>2</sub> 4A	K <sub>2</sub> 4B	K <sub>2</sub> 4C
3	1,5	246,79	251,05	248,36	231,01	230,53	226,53	258,31	261,40	259,43
4	2,0	226,60	232,48	228,80	208,32	207,77	202,87	241,30	245,93	242,94
5	2,5	208,20	215,45	210,97	189,43	188,88	183,28	224,80	230,57	226,83
6	3,0	192,16	200,55	195,38	173,86	173,41	167,48	209,64	216,63	212,13
7	3,5	178,19	187,56	182,06	160,82	160,50	154,49	196,18	204,03	199,11
8	4,0	166,27	176,45	170,62	150,02	149,89	143,65	184,05	192,73	187,47

**Priloga C: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 90° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>2</sub> 1A	K <sub>2</sub> 1B	K <sub>2</sub> 1C
3	0,6	292,67	293,69	292,36	259,95	292,09	290,22	294,20	294,90	293,93
4	0,8	289,91	291,44	289,76	285,76	288,31	285,50	292,15	293,38	291,95
5	1,0	286,72	288,79	286,47	280,74	283,85	280,31	289,86	291,53	289,61
6	1,2	283,11	285,64	282,60	275,25	279,12	274,66	287,12	289,30	286,88
7	1,4	279,19	282,26	278,81	269,56	274,27	268,93	284,16	286,80	283,78
8	1,6	275,02	278,74	274,57	263,75	269,24	263,22	280,96	284,00	280,62
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>2</sub> 2A	K <sub>2</sub> 2B	K <sub>2</sub> 2C
3	0,9	284,78	286,96	284,73	278,33	281,67	278,39	288,20	289,95	288,23
4	1,2	277,85	281,24	278,01	267,90	272,92	268,21	283,06	285,70	283,16
5	1,5	270,35	274,65	270,44	257,13	263,60	257,39	277,33	280,81	277,29
6	1,8	262,25	267,79	262,55	246,58	254,43	246,73	271,03	275,38	271,10
7	2,1	254,44	260,90	254,57	236,35	245,60	236,74	264,51	269,73	264,64
8	2,4	246,55	254,05	246,81	226,87	237,18	227,33	257,89	264,13	258,06
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>2</sub> 3A	K <sub>2</sub> 3B	K <sub>2</sub> 3C
3	1,2	271,62	275,08	275,10	259,22	264,03	260,06	278,46	280,94	278,90
4	1,6	258,75	263,72	263,75	241,68	248,50	242,89	268,29	272,22	269,13
5	2,0	245,57	252,13	252,07	225,03	233,61	226,58	257,71	262,77	258,64
6	2,4	232,93	240,76	240,84	209,80	220,08	211,68	246,88	253,08	248,00
7	2,8	220,99	230,05	230,13	196,41	208,02	198,78	236,29	243,74	237,60
8	3,2	209,83	220,03	220,14	184,86	197,57	187,62	226,16	234,71	227,71
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>2</sub> 4A	K <sub>2</sub> 4B	K <sub>2</sub> 4C
3	1,5	251,25	255,23	252,88	235,44	234,88	231,34	262,48	265,40	263,68
4	2,0	231,37	236,64	233,23	212,04	211,53	206,86	245,96	250,04	247,42
5	2,5	212,73	219,31	215,12	192,34	191,83	186,67	229,62	234,88	231,55
6	3,0	196,22	203,86	198,95	176,15	175,75	170,19	214,33	220,57	216,41
7	3,5	181,84	190,47	185,13	162,67	162,38	156,64	200,28	207,59	202,87
8	4,0	169,39	178,79	173,33	151,51	151,26	145,36	187,93	195,83	190,86

**Priloga D: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 120° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>2</sub> 1A	K <sub>2</sub> 1B	K <sub>2</sub> 1C
3	0,6	284,88	286,00	284,84	282,15	283,79	282,13	286,17	287,08	286,06
4	0,8	282,25	283,70	282,20	277,66	280,17	277,50	284,20	285,32	284,08
5	1,0	279,06	281,14	278,95	272,70	276,01	272,43	281,94	283,47	281,82
6	1,2	275,40	278,04	275,10	267,42	271,60	266,97	279,14	281,32	279,01
7	1,4	271,60	275,03	271,20	261,90	267,19	261,42	276,17	278,95	276,02
8	1,6	267,74	271,55	267,21	256,55	262,56	255,78	273,11	276,34	272,82
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>2</sub> 2A	K <sub>2</sub> 2B	K <sub>2</sub> 2C
3	0,9	277,01	279,24	277,28	270,13	273,66	270,40	280,26	281,94	280,44
4	1,2	270,25	273,59	270,48	260,32	265,31	260,52	275,11	277,76	275,38
5	1,5	262,94	267,36	263,15	250,03	256,59	250,17	269,43	273,04	269,61
6	1,8	255,30	260,90	255,61	239,78	247,89	240,22	263,38	267,79	263,72
7	2,1	247,73	254,40	247,95	230,26	239,64	230,71	257,21	262,49	257,29
8	2,4	240,23	248,00	240,50	221,40	231,91	221,82	250,81	257,17	251,10
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>2</sub> 3A	K <sub>2</sub> 3B	K <sub>2</sub> 3C
3	1,2	264,17	267,67	267,58	251,85	256,74	253,01	270,35	273,04	271,20
4	1,6	251,70	256,63	256,73	235,03	241,67	236,44	260,65	264,60	261,71
5	2,0	239,06	245,53	245,49	219,30	227,74	221,11	250,43	255,41	251,66
6	2,4	226,98	234,79	234,77	205,17	215,02	207,27	240,04	246,28	241,50
7	2,8	215,67	224,72	224,71	192,57	203,74	195,03	229,90	237,25	231,57
8	3,2	205,33	215,47	215,40	181,38	193,74	184,27	220,42	228,81	222,22
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>2</sub> 4A	K <sub>2</sub> 4B	K <sub>2</sub> 4C
3	1,5	244,34	248,19	246,22	228,65	228,42	225,43	254,98	257,93	256,44
4	2,0	225,16	230,43	227,61	206,81	206,58	202,77	239,00	243,10	240,91
5	2,5	207,72	214,16	210,56	188,14	188,01	183,50	223,41	228,48	225,79
6	3,0	192,13	199,55	195,58	172,47	172,49	167,63	209,00	215,14	211,77
7	3,5	178,49	186,74	182,33	159,45	159,64	154,46	195,92	202,86	199,09
8	4,0	166,56	175,50	170,91	148,44	148,84	143,54	184,14	191,80	187,57



**Priloga E: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij linijskega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 150° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>2</sub> 1A	K <sub>2</sub> 1B	K <sub>2</sub> 1C
3	0,6	284,88	286,00	284,84	282,15	283,79	282,13	286,17	287,08	286,06
4	0,8	282,25	283,70	282,20	277,66	280,17	277,50	284,20	285,32	284,08
5	1,0	279,06	281,14	278,95	272,70	276,01	272,43	281,94	283,47	281,82
6	1,2	275,40	278,04	275,10	267,42	271,60	266,97	279,14	281,32	279,01
7	1,4	271,60	275,03	271,20	261,90	267,19	261,42	276,17	278,95	276,02
8	1,6	267,74	271,55	267,21	256,55	262,56	255,78	273,11	276,34	272,82
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>2</sub> 2A	K <sub>2</sub> 2B	K <sub>2</sub> 2C
3	0,9	277,01	279,24	277,28	270,13	273,66	270,40	280,26	281,94	280,44
4	1,2	270,25	273,59	270,48	260,32	265,31	260,52	275,11	277,76	275,38
5	1,5	262,94	267,36	263,15	250,03	256,59	250,17	269,43	273,04	269,61
6	1,8	255,30	260,90	255,61	239,78	247,89	240,22	263,38	267,79	263,72
7	2,1	247,73	254,40	247,95	230,26	239,64	230,71	257,21	262,49	257,29
8	2,4	240,23	248,00	240,50	221,40	231,91	221,82	250,81	257,17	251,10
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>2</sub> 3A	K <sub>2</sub> 3B	K <sub>2</sub> 3C
3	1,2	264,17	267,67	267,58	251,85	256,74	253,01	270,35	273,04	271,20
4	1,6	251,70	256,63	256,73	235,03	241,67	236,44	260,65	264,60	261,71
5	2,0	239,06	245,53	245,49	219,30	227,74	221,11	250,43	255,41	251,66
6	2,4	226,98	234,79	234,77	205,17	215,02	207,27	240,04	246,28	241,50
7	2,8	215,67	224,72	224,71	192,57	203,74	195,03	229,90	237,25	231,57
8	3,2	205,33	215,47	215,40	181,38	193,74	184,27	220,42	228,81	222,22
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>2</sub> 4A	K <sub>2</sub> 4B	K <sub>2</sub> 4C
3	1,5	244,34	248,19	246,22	228,65	228,42	225,43	254,98	257,93	256,44
4	2,0	225,16	230,43	227,61	206,81	206,58	202,77	239,00	243,10	240,91
5	2,5	207,72	214,16	210,56	188,14	188,01	183,50	223,41	228,48	225,79
6	3,0	192,13	199,55	195,58	172,47	172,49	167,63	209,00	215,14	211,77
7	3,5	178,49	186,74	182,33	159,45	159,64	154,46	195,92	202,86	199,09
8	4,0	166,56	175,50	170,91	148,44	148,84	143,54	184,14	191,80	187,57

**Priloga F: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z orientacijo daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	286,25	286,22	286,34	283,46	283,57	283,64
4	0,8	284,20	284,31	284,40	279,98	280,19	280,05
5	1,0	281,66	281,75	282,01	276,01	276,06	276,04
6	1,2	278,87	278,97	279,11	271,91	271,86	271,55
7	1,4	276,02	275,97	275,98	267,47	267,59	267,33
8	1,6	272,89	272,86	272,84	263,28	263,22	262,97
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	279,08	279,90	279,87	272,58	273,80	273,38
4	1,2	273,59	274,56	274,53	264,28	265,93	264,78
5	1,5	267,39	268,72	268,54	255,54	257,40	256,40
6	1,8	261,21	262,60	262,61	247,25	249,39	249,07
7	2,1	254,75	256,41	256,53	239,25	241,66	241,26
8	2,4	248,53	250,48	250,55	231,96	234,30	234,29
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	267,19	269,31	269,18	255,10	258,05	257,59
4	1,6	256,41	259,28	259,26	240,12	244,23	244,04
5	2,0	245,35	248,88	249,16	226,17	231,10	231,21
6	2,4	234,57	238,88	239,31	213,43	219,27	219,54
7	2,8	224,63	229,45	230,11	202,20	208,87	209,25
8	3,2	215,27	220,65	221,54	192,22	199,92	200,43
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	248,83	252,05	252,42	229,78	234,51	234,70
4	2,0	231,64	235,74	236,47	208,55	214,26	214,89
5	2,5	215,37	220,51	221,59	190,09	197,17	198,16
6	3,0	200,74	206,52	208,26	174,75	183,07	184,20
7	3,5	187,93	194,55	196,44	161,96	171,29	172,62
8	4,0	176,62	184,17	186,20	150,93	161,40	162,81

**Priloga G: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 30° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	285,06	285,45	285,03	282,59	283,23	282,76
4	0,8	282,98	283,39	282,94	278,88	279,73	278,98
5	1,0	280,25	280,90	280,49	274,77	275,66	274,84
6	1,2	277,35	278,04	277,63	270,46	271,15	270,56
7	1,4	274,24	274,93	274,47	265,76	266,81	266,29
8	1,6	271,02	271,71	271,43	261,37	262,34	261,86
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	277,86	278,97	278,48	271,57	273,25	272,54
4	1,2	271,93	273,60	273,13	262,90	265,07	264,18
5	1,5	265,59	267,76	267,13	253,87	256,67	255,85
6	1,8	259,16	261,47	260,93	245,16	248,50	247,39
7	2,1	252,66	255,27	254,84	237,14	240,68	239,70
8	2,4	246,27	249,07	248,73	229,90	233,79	232,78
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	265,51	268,42	267,69	253,56	257,61	256,42
4	1,6	254,55	258,31	257,58	238,26	243,72	242,48
5	2,0	243,21	247,88	247,27	224,23	230,62	229,53
6	2,4	232,44	237,90	237,33	211,84	219,04	218,06
7	2,8	222,39	228,53	228,18	200,73	208,93	207,77
8	3,2	213,28	220,10	219,74	190,92	199,90	199,04
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	246,94	251,02	250,77	228,04	233,73	232,96
4	2,0	229,46	234,72	234,52	206,83	214,04	213,36
5	2,5	213,42	219,59	219,67	188,86	197,36	196,76
6	3,0	199,10	206,27	206,46	173,63	183,30	182,93
7	3,5	186,53	194,43	194,91	160,85	171,53	171,46
8	4,0	175,40	184,12	184,72	149,99	161,77	161,71

**Priloga H: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 60° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	285,15	285,24	285,43	283,42	283,70	283,54
4	0,8	283,00	283,22	283,34	279,76	280,15	279,90
5	1,0	280,45	280,67	280,75	275,47	276,29	275,64
6	1,2	277,50	278,11	277,78	271,00	271,96	270,98
7	1,4	274,36	274,94	274,57	266,27	267,63	266,34
8	1,6	271,13	271,83	271,24	261,75	263,34	261,64
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	278,02	278,83	278,70	272,29	273,76	272,96
4	1,2	272,21	273,52	273,08	263,48	265,81	264,52
5	1,5	265,86	267,77	266,92	254,30	257,65	255,65
6	1,8	259,26	261,79	260,54	245,49	249,53	246,84
7	2,1	252,64	255,63	254,07	237,16	241,90	238,84
8	2,4	246,04	249,57	247,67	229,58	234,82	231,43
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	265,72	268,35	267,81	254,28	258,39	256,83
4	1,6	254,67	258,33	257,22	238,61	244,62	242,06
5	2,0	243,15	248,18	246,53	224,16	231,58	228,54
6	2,4	232,09	238,33	236,21	211,32	220,09	216,50
7	2,8	221,81	229,17	226,55	200,01	209,95	205,98
8	3,2	212,44	220,64	217,87	190,05	201,10	196,73
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	247,12	250,83	250,29	228,39	234,71	232,51
4	2,0	229,21	234,55	233,54	206,58	214,98	212,22
5	2,5	212,90	219,53	218,27	188,14	198,23	195,05
6	3,0	198,30	206,17	204,65	172,91	184,19	180,84
7	3,5	185,50	194,47	192,82	160,08	172,71	169,02
8	4,0	174,42	184,25	182,46	149,32	162,96	159,19

**Priloga I: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 90° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	287,54	287,51	287,38	285,86	286,08	285,79
4	0,8	285,34	285,52	285,24	282,25	282,56	281,97
5	1,0	282,89	283,16	282,87	278,24	278,50	277,99
6	1,2	280,04	280,32	279,91	273,97	274,28	273,71
7	1,4	277,07	277,21	276,86	269,56	269,73	269,08
8	1,6	273,99	273,91	273,76	265,20	265,37	264,70
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	280,20	281,09	280,79	274,65	276,20	275,33
4	1,2	274,67	275,76	275,32	266,43	268,11	267,26
5	1,5	268,65	269,80	269,42	257,71	259,76	258,70
6	1,8	262,08	263,81	263,13	249,11	251,48	250,01
7	2,1	255,78	257,66	256,84	241,16	243,70	241,98
8	2,4	249,52	251,57	250,62	233,45	236,53	234,38
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	268,20	270,57	270,22	257,15	260,49	259,51
4	1,6	257,35	260,53	260,00	242,07	246,76	245,11
5	2,0	246,27	250,27	249,33	227,80	233,66	231,47
6	2,4	235,63	240,57	239,13	214,88	221,62	219,03
7	2,8	225,38	231,08	229,40	203,32	211,25	208,13
8	3,2	215,89	222,33	220,26	193,23	202,18	198,71
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	249,78	252,60	253,08	231,67	237,23	235,71
4	2,0	232,51	236,24	236,48	209,99	217,09	214,82
5	2,5	216,20	220,86	220,94	191,24	199,97	197,09
6	3,0	201,45	206,90	206,83	175,67	185,63	182,60
7	3,5	188,43	194,73	194,59	162,49	173,71	170,57
8	4,0	177,07	184,30	184,25	151,43	163,63	160,39

**Priloga J: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 120° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone.**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	285,27	285,31	285,53	283,06	283,26	283,53
4	0,8	283,20	283,41	283,65	279,44	279,80	280,02
5	1,0	280,61	280,82	281,04	275,32	275,79	275,65
6	1,2	277,68	277,95	278,04	270,87	271,64	271,19
7	1,4	274,57	274,97	274,94	266,47	267,44	266,59
8	1,6	271,43	271,76	271,67	262,02	263,06	262,19
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	277,88	278,92	279,08	272,07	273,50	273,16
4	1,2	272,33	273,47	273,57	263,52	265,50	264,87
5	1,5	266,09	267,63	267,59	254,57	257,24	256,34
6	1,8	259,59	261,70	261,35	245,84	248,95	247,82
7	2,1	252,94	255,43	254,96	237,78	241,30	239,84
8	2,4	246,59	249,36	248,76	230,39	234,20	232,42
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	265,83	268,29	268,49	254,13	257,84	257,36
4	1,6	254,95	258,29	258,24	239,01	244,06	243,12
5	2,0	243,70	247,95	247,71	224,86	231,17	229,75
6	2,4	232,72	238,06	237,62	212,32	219,52	217,82
7	2,8	222,77	228,76	228,12	201,07	209,17	207,31
8	3,2	213,50	220,23	219,43	191,35	200,15	198,12
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	247,37	249,81	251,30	228,75	234,25	233,64
4	2,0	229,81	233,23	234,95	207,43	214,52	213,71
5	2,5	213,75	217,71	219,84	189,30	197,87	196,60
6	3,0	199,40	204,09	206,40	174,06	183,70	182,26
7	3,5	186,76	191,97	194,39	161,15	171,78	170,28
8	4,0	175,67	181,42	183,99	150,26	161,75	160,14

**Priloga K: Povprečne količine sončnega sevanja na enoto površine fasade najbolj osenčene (osrednje) stavbe modelov tipologij točkovnega vzorca zidave z rotacijo vektorja severa za 150° v smeri urnega kazalca od orientacije daljših stranic proti vzhodu in zahodu v času ogrevalne sezone**

št. nad.	FI	količina sončnega sevanja [kWh/m <sup>2</sup> ]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	284,28	284,62	284,22	281,37	281,88	281,45
4	0,8	282,15	282,57	282,24	277,71	278,37	277,94
5	1,0	279,55	280,14	279,74	273,65	274,45	274,00
6	1,2	276,57	277,22	276,92	269,14	269,86	269,74
7	1,4	273,48	273,95	273,97	264,71	265,57	265,27
8	1,6	270,25	270,69	270,69	260,30	261,21	260,92
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	277,01	278,07	277,70	270,26	271,88	271,53
4	1,2	271,21	272,73	272,40	261,92	263,74	263,36
5	1,5	265,07	266,56	266,61	252,92	255,31	255,00
6	1,8	258,50	260,36	260,51	244,02	246,91	246,81
7	2,1	251,83	254,11	254,41	235,96	239,22	239,03
8	2,4	245,32	247,96	248,33	228,50	232,13	231,80
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	264,88	267,37	267,28	252,49	255,98	255,88
4	1,6	253,63	257,02	257,24	237,10	241,81	241,94
5	2,0	242,40	246,52	246,95	222,96	228,82	228,99
6	2,4	231,43	236,34	237,05	210,35	217,11	217,38
7	2,8	221,25	226,95	227,82	199,12	206,93	207,13
8	3,2	211,94	218,35	219,31	189,45	198,06	198,06
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	246,22	248,65	250,24	226,94	231,93	232,52
4	2,0	228,46	231,51	234,28	205,51	212,19	212,97
5	2,5	212,24	215,91	219,41	187,43	195,33	196,32
6	3,0	197,84	202,06	206,13	172,31	181,46	182,36
7	3,5	185,24	189,91	194,56	159,55	169,76	170,61
8	4,0	174,09	179,35	184,31	148,86	159,92	160,80

**Priloga L:  $VD_{pov}$  na pritličnih fasadah osrednje stavbe modelov linijskih stanovanjskih zazidav**

št. nad.	FI	$VD_{pov}$ na pritličnih fasadah [%]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>2</sub> 1A	K <sub>2</sub> 1B	K <sub>2</sub> 1C
3	0,6	45,15	45,38	45,12	45,43	45,61	45,40	44,50	44,87	44,46
4	0,8	44,17	44,52	44,12	44,62	44,90	44,58	43,15	43,70	43,08
5	1,0	43,17	43,65	43,11	43,81	44,20	43,76	41,78	42,51	41,69
6	1,2	42,17	42,77	42,09	42,99	43,50	42,93	40,41	41,33	40,29
7	1,4	41,16	41,89	41,06	42,17	42,78	42,09	39,06	40,15	38,93
8	1,6	40,15	41,01	40,04	41,34	42,06	41,25	37,75	39,01	37,60
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>2</sub> 2A	K <sub>2</sub> 2B	K <sub>2</sub> 2C
3	0,9	43,47	43,96	43,49	44,14	44,53	44,15	42,04	42,77	42,07
4	1,2	41,60	42,34	41,63	42,64	43,23	42,66	39,65	40,56	39,53
5	1,5	39,71	40,70	39,75	41,10	41,89	41,13	36,96	38,36	37,02
6	1,8	37,83	39,06	37,88	39,55	40,55	39,59	34,59	36,27	34,66
7	2,1	36,02	37,47	36,08	38,00	39,21	38,05	32,40	34,33	32,48
8	2,4	34,30	35,94	34,36	36,49	37,89	36,55	30,44	32,55	30,53
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>2</sub> 3A	K <sub>2</sub> 3B	K <sub>2</sub> 3C
3	1,2	40,83	41,56	40,99	42,11	42,68	42,23	38,31	39,32	38,53
4	1,6	37,72	38,80	37,97	39,59	40,43	39,77	34,26	35,69	34,56
5	2,0	34,70	36,10	35,03	37,05	38,16	37,29	30,59	32,36	31,00
6	2,4	31,90	33,57	32,29	34,59	35,95	34,89	27,43	29,46	27,91
7	2,8	29,36	31,25	29,83	32,27	33,86	32,62	24,74	26,97	25,32
8	3,2	27,11	29,19	27,64	30,13	31,91	30,54	22,48	24,88	23,14
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>2</sub> 4A	K <sub>2</sub> 4B	K <sub>2</sub> 4C
3	1,5	36,86	37,65	37,21	38,97	39,58	39,24	32,59	33,64	33,02
4	2,0	32,29	33,38	32,79	35,09	35,96	35,47	27,10	28,45	27,69
5	2,5	28,24	29,56	28,86	31,44	32,53	31,93	22,74	24,27	23,47
6	3,0	24,80	26,29	25,54	28,17	29,44	28,75	19,35	21,01	20,21
7	3,5	21,94	23,55	22,78	25,30	26,72	25,98	16,72	18,45	17,71
8	4,0	19,56	21,26	20,51	22,83	24,35	23,59	14,65	16,44	15,75



### Priloga M: $VD_{pov}$ na pritličnih fasadah osrednje stavbe modelov točkovnih stanovanjskih zazidav

št. nad.	FI	$VD_{pov}$ na pritličnih fasadah [%]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	44,98	45,03	44,98	45,49	45,51	45,49
4	0,8	43,85	43,92	43,85	44,66	44,70	44,67
5	1,0	42,70	42,80	42,71	43,83	43,88	43,86
6	1,2	41,56	41,68	41,56	43,00	43,06	43,02
7	1,4	40,45	40,58	40,44	42,16	42,24	42,19
8	1,6	39,37	39,52	39,37	41,33	41,42	41,37
		FZ 30 %					
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	42,76	43,03	42,93	44,01	44,17	44,13
4	1,2	40,54	40,94	40,78	42,40	42,65	42,60
5	1,5	38,36	38,88	38,67	40,77	41,11	41,03
6	1,8	36,31	36,91	36,67	39,16	39,57	39,48
7	2,1	34,42	35,10	34,82	37,60	38,08	37,97
8	2,4	32,72	33,46	33,16	36,12	36,65	36,53
		FZ 40 %					
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	39,60	39,70	39,93	41,56	42,05	42,00
4	1,6	36,09	36,23	36,55	38,79	39,51	39,42
5	2,0	32,88	33,07	33,46	36,09	37,01	36,90
6	2,4	30,08	30,32	30,76	33,55	34,65	34,53
7	2,8	27,67	27,98	28,45	31,24	32,49	32,36
8	3,2	25,63	26,00	26,49	29,17	30,55	30,40
		FZ 50 %					
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	34,10	35,21	35,08	37,86	38,66	38,60
4	2,0	29,00	30,45	30,29	33,66	34,76	34,69
5	2,5	24,85	26,56	26,37	29,88	31,23	31,14
6	3,0	21,56	23,47	23,28	26,61	28,16	28,07
7	3,5	18,96	21,02	20,85	23,86	25,56	25,47
8	4,0	16,88	19,08	18,90	21,52	23,37	23,28

**Priloga N: VD<sub>pov</sub> na fasadah prvega nadstropja osrednje stavbe modelov linijskih stanovanjskih zazidav**

št. nad.	FI	VD <sub>pov</sub> na fasadah prvega nadstropja [%]								
		FZ 20 %								
		L1A	L1B	L1C	K1A	K1B	K1C	K <sub>z</sub> 1A	K <sub>z</sub> 1B	K <sub>z</sub> 1C
3	0,6	46,99	47,14	46,95	47,14	47,27	47,10	46,58	46,82	46,53
4	0,8	46,05	46,32	46,00	46,36	46,58	46,31	45,30	45,71	45,24
5	1,0	45,06	45,45	45,00	45,55	45,86	45,50	43,93	44,54	43,85
6	1,2	44,04	44,55	43,96	44,72	45,15	44,66	42,52	43,32	42,42
7	1,4	43,00	43,65	42,90	43,87	44,41	43,79	41,10	42,10	40,98
8	1,6	41,94	42,73	41,84	43,01	43,66	42,92	39,72	40,88	39,58
		FZ 30 %								
		L2A	L2B	L2C	K2A	K2B	K2C	K <sub>z</sub> 2A	K <sub>z</sub> 2B	K <sub>z</sub> 2C
3	0,9	45,85	46,18	45,85	46,28	46,54	46,28	44,91	45,40	44,92
4	1,2	44,07	44,64	44,09	44,85	45,31	44,86	42,42	43,25	42,45
5	1,5	42,17	42,99	42,20	43,32	43,98	43,35	39,81	41,00	39,86
6	1,8	40,22	41,30	40,27	41,73	42,60	41,77	37,26	38,76	37,32
7	2,1	38,29	39,62	38,35	40,13	41,21	40,17	34,84	36,63	34,91
8	2,4	36,44	37,98	36,51	38,53	39,82	38,59	32,63	34,67	32,73
		FZ 40 %								
		L3A	L3B	L3C	K3A	K3B	K3C	K <sub>z</sub> 3A	K <sub>z</sub> 3B	K <sub>z</sub> 3C
3	1,2	44,06	44,55	44,17	44,91	45,29	44,99	42,33	43,02	42,45
4	1,6	41,01	41,84	41,20	42,48	43,13	42,62	38,16	39,30	38,67
5	2,0	37,84	39,02	38,11	39,90	40,82	40,10	34,08	35,63	34,76
6	2,4	34,78	36,28	35,13	37,29	38,50	37,56	30,42	32,31	31,24
7	2,8	31,93	33,71	32,37	34,78	36,24	35,10	27,26	29,41	27,89
8	3,2	29,39	31,38	29,88	32,42	34,10	32,80	24,60	26,94	25,16
		FZ 50 %								
		L4A	L4B	L4C	K4A	K4B	K4C	K <sub>z</sub> 4A	K <sub>z</sub> 4B	K <sub>z</sub> 4C
3	1,5	41,30	41,84	41,55	42,77	43,17	42,95	38,26	38,98	38,36
4	2,0	36,53	37,39	36,92	38,87	39,55	39,16	31,92	33,06	32,23
5	2,5	31,94	33,11	32,49	34,93	35,88	35,35	26,49	27,93	26,89
6	3,0	27,90	29,30	28,57	31,25	32,42	31,78	22,21	23,82	22,99
7	3,5	24,48	26,04	25,26	27,97	29,31	28,59	18,88	20,62	19,50
8	4,0	21,63	23,32	22,52	25,10	26,58	25,81	16,31	18,12	17,21

## Priloga O: $VD_{pov}$ na fasadah prvega nadstropja osrednje stavbe modelov točkovnih stanovanjskih zazidav

št. nad.	FI	$VD_{pov}$ na fasadah prvega nadstropja [%]					
		FZ 20 %					
		S1A	S1B	S1C	S <sub>g</sub> 1A	S <sub>g</sub> 1B	S <sub>g</sub> 1C
3	0,6	46,95	46,98	46,94	47,25	47,25	47,24
4	0,8	45,88	46,20	45,87	46,45	46,48	46,45
5	1,0	44,73	44,82	44,74	45,63	45,68	45,64
6	1,2	43,56	43,67	43,56	44,78	44,84	44,80
7	1,4	42,38	42,52	42,39	43,92	44,00	43,94
8	1,6	41,24	41,39	41,25	42,89	43,15	43,08
FZ 30 %							
		S2A	S2B	S2C	S <sub>g</sub> 2A	S <sub>g</sub> 2B	S <sub>g</sub> 2C
3	0,9	45,43	45,61	45,54	46,23	46,35	46,32
4	1,2	43,28	43,59	43,46	44,71	44,91	44,85
5	1,5	41,02	41,47	41,29	43,07	43,36	43,29
6	1,8	38,80	39,37	39,14	41,40	41,78	41,68
7	2,1	36,72	37,37	37,11	39,75	40,21	40,09
8	2,4	34,81	35,54	35,25	38,14	38,68	38,54
FZ 40 %							
		S3A	S3B	S3C	S <sub>g</sub> 3A	S <sub>g</sub> 3B	S <sub>g</sub> 3C
3	1,2	43,24	43,56	43,46	44,56	44,91	44,86
4	1,6	39,68	40,12	40,00	41,85	42,43	42,35
5	2,0	36,11	36,76	36,61	39,03	39,84	39,73
6	2,4	32,90	33,69	33,52	36,28	37,30	37,17
7	2,8	30,10	31,05	30,83	33,71	34,92	34,76
8	3,2	27,70	28,78	28,53	31,37	32,75	32,56
FZ 50 %							
		S4A	S4B	S4C	S <sub>g</sub> 4A	S <sub>g</sub> 4B	S <sub>g</sub> 4C
3	1,5	39,36	40,11	39,98	41,99	42,56	42,51
4	2,0	33,58	34,79	34,21	37,63	38,53	38,47
5	2,5	28,54	30,07	29,87	33,40	34,62	34,54
6	3,0	24,44	26,23	25,90	29,60	31,09	30,98
7	3,5	21,20	23,20	22,95	28,33	28,66	28,64
8	4,0	18,64	20,81	20,76	23,58	25,99	25,93