



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“
ВО СКОПЈЕ**

**ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ
НА МЕБЕЛ И ЕНТЕРИЕР - СКОПЈЕ**



М-р Умније Исмаилаки Азири

**АНАЛИЗА НА ПОТРЕБИТЕ ОД УРБАНА ОПРЕМА ВО ОПШТИНА
ТЕТОВО И ИЗРАБОТКА НА ПРОЕКТ ЗА ОДРЖЛИВ МЕБЕЛ**

Докторски труд

Скопје, 2026



УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО
СКОПЈЕ

ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА
МЕБЕЛ И ЕНТЕРИЕР - СКОПЈЕ



М-р Умније Исмаилаки Азири

АНАЛИЗА НА ПОТРЕБИТЕ ОД УРБАНА ОПРЕМА ВО ОПШТИНА
ТЕТОВО И ИЗРАБОТКА НА ПРОЕКТ ЗА ОДРЖЛИВ МЕБЕЛ

Докторски труд

Скопје, 2026

Докторанд:

М-р УМНИЈЕ ИСМАИЛАКИ АЗИРИ

Тема:

АНАЛИЗА НА ПОТРЕБИТЕ ОД УРБАНА ОПРЕМА ВО ОПШТИНА ТЕТОВО И
ИЗРАБОТКА НА ПРОЕКТ ЗА ОДРЖЛИВ МЕБЕЛ

Ментор:

Проф д-р. ЕЛЕНА НИКОЉСКИ ПАНЕВСКИ,

Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер – Скопје

Комисија за одбрана:

Проф.д-р ВЛАДИМИР КАРАНАКОВ, претседател

Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Проф д-р. ЕЛЕНА НИКОЉСКИ ПАНЕВСКИ,

Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Проф.д-р ЃОРЃИ ГРУЕВСКИ, член

Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Проф.д-р ГОРАН ЗЛАТЕСКИ, член

Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Проф.д-р МИРА СТАНКЕВИЌ ШУМАНСКА, член

Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Научна област:

Дизајн и технологии на мебел и ентериер

Датум на одбрана:

АНАЛИЗА НА ПОТРЕБИТЕ ОД УРБАНА ОПРЕМА ВО ОПШТИНА ТЕТОВО И ИЗРАБОТКА НА ПРОЕКТ ЗА ОДРЖЛИВ МЕБЕЛ

- А п с т р а к т -

Оваа докторска дисертација се занимава со интеграција на принципите на одржливиот развој во процесот на проектирање и производство на урбана опрема. Примарниот фокус на истражувањето е ставен на развојот на иновативен дизајн на урбана клупа (Опција 1), конструирана од хибридна комбинација на конструктивен челик и термички модифицирано дрво (ThermoWood).

Главната цел на трудот е да се квантифицира еколошкиот импакт на производот преку примена на научно воспоставената методологија за Оцена на Животниот Циклус (Life Cycle Assessment - LCA), во согласност со стандардите ISO 14040/14044. Анализата е спроведена преку софтверот openLCA, користејќи ја базата на податоци Ecoinvent v3.8 и методот на евалуација ReCiPe 2016 Midpoint (H). Опсегот на истражувањето ги опфаќа фазите „од екстракција до порта“ (Cradle-to-Gate), вклучувајќи ги примарното производство на материјалите (A1), транспортот (A2) и индустриската обработка (A3).

Резултатите од истражувањето покажуваат дека вкупниот нето јаглероден отпечаток (Carbon Footprint) на една функционална единица изнесува 155.89 kg CO₂-eq. Клучниот научен придонес на трудот лежи во докажувањето на улогата на ThermoWood како јаглероден склад (Carbon Sink), кој успева да го неутрализира високиот емисионен интензитет на челичната конструкција за приближно 18%. Дополнително, трудот го анализира влијанието на македонскиот национален енергетски микс врз вкупните емисии во фазата на производство, укажувајќи на специфичните предизвици за локалната индустрија.

Заклучните согледувања нудат насоки за идните урбанисти и дизајнери за користење на LCA алатките како доминантен инструмент во процесот на донесување одлуки, промовирајќи ги „зелените“ јавни набавки и кружната економија во урбаниот простор.

Клучни зборови: Урбана опрема, урбан простор, еко-дизајн, одржливи материјали, LCA (оцена на животниот циклус), јаглероден отпечаток, одржливост, кружна економија, термодрво, rHDPE.

ANALYSIS OF THE NEEDS FOR URBAN EQUIPMENT IN THE MUNICIPALITY OF TETOVO AND DEVELOPMENT OF A PROJECT FOR SUSTAINABLE FURNITURE

- Abstract -

This doctoral dissertation addresses the integration of sustainable development principles into the design and production process of urban furniture. The primary focus of the research is the development of an innovative urban bench design (Option 1), constructed from a hybrid combination of structural steel and thermally modified timber (ThermoWood).

The main objective of the study is to quantify the environmental impact of the product by applying the scientifically established Life Cycle Assessment (LCA) methodology, in accordance with ISO 14040/14044 standards. The analysis was conducted using openLCA software, utilizing the Ecoinvent v3.8 database and the ReCiPe 2016 Midpoint (H) evaluation method. The scope of the research covers the "Cradle-to-Gate" phases, including primary material production (A1), transport (A2), and industrial processing (A3).

Research results indicate that the total net carbon footprint (Global Warming Potential) of one functional unit is 155.89 kg CO₂-eq. The key scientific contribution of the thesis lies in proving the role of ThermoWood as a "Carbon Sink," which successfully neutralizes the high emission intensity of the steel structure by approximately 18%. Additionally, the study analyzes the influence of the Macedonian national energy mix on total emissions during the manufacturing phase, highlighting specific challenges for the local industry.

The concluding findings offer guidance for future urban planners and designers on utilizing LCA tools as a dominant decision-making instrument, promoting "green" public procurement and the circular economy within urban spaces.

Keywords: *Urban furniture, urban space, eco design, sustainable materials, LCA, Carbon Footprint, sustainability, circular economy, thermowood, rHDPE.*

Благодарност

Најпрво, би сакал да изразам длабока благодарност до мојот ментор, Проф д-р. Елена Никољски Паневски, за нејзиното стручно водство, трпение и постојана поддршка во текот на целиот процес на ова истражување. Неговите совети и критички осврт беа клучни за обликувањето на оваа докторска дисертација.

Посебна благодарност упатувам до членовите на комисијата за нивните вредни сугестии кои придонесоа за квалитетот на овој труд.

Исто така, би сакал да им се заблагодарам на сите колеги и соработници од Универзитетот Св. Кирил и Методиј, како и на вработените во општинските институции во Тетово за нивната соработка и обезбедувањето на техничките податоци. Посебна благодарност упатувам до граѓаните на Тетово кои учествуваа во спроведената анкета; нивните одговори и ставови беа од суштинско значење за реално согледување на потребите и за успешно обликување на предложените решенија во овој труд. Најголемата благодарност ја посветувам на моето семејство. На моите родители, за нивната безусловна поддршка и верба во мене низ сите години на образование. На мојот брачен другар и децата, за нивното трпение и разбирање во моментите кога работата врз овој труд бараше големи жртви од нашето заедничко време.

На крајот, им благодарам на сите мои пријатели кои на свој начин ме мотивираа да истраам до самиот крај на овој академски предизвик.

Изјавувам дека докторскиот труд е оригинален труд што го имам изработено самостојно.

Своерачен потпис на докторандот
(на електронска версија потпис и скратеница с.р.)

(на електронска версија на докторски труд)
Изјавувам дека електронската верзија на докторскиот труд е идентична со отпечатениот докторски труд.

Потпис на авторот, с.р

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД	10
1.1. Истражувачка позадина	10
1.2. Дефинирање на проблемот	11
1.3. Цели на истражувањето	11
1.4. Методологија на истражување	12
1.5. Истражувачки прашања и хипотези	12
1.6. Опсег и ограничувања на истражувањето	13
1.7. Структура на дисертацијата	13
2. ПРЕГЛЕД НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ТЕОРЕТСКА РАМКА	14
2.1. Урбана опрема и одржливост во современиот еко-инженеринг	14
2.2. Предизвици на LCA методологијата во микро-инфраструктурата	14
2.3. Квантитативна анализа на GWP и енергетскиот интензитет на материјалите	14
2.4. Состојба во Тетово и идентификување на истражувачкиот јаз (Research Gap)	14
3. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	16
3.1. Пристап на истражувањето	16
3.2. Методи за прибирање податоци	16
3.2.1. Дигитална партиципација (Анкетен прашалник)	16
3.2.2. Теренска детекција и просторна инвентаризација	16
3.3. Методолошка рамка за проценка на животниот циклус (LCA)	17
3.4. Методологија на дизајнерски развој и синтеза	18
3.5. Методологија на споредбена евалуација	18
3.6. Образложување на методолошките избори	19
3.7. Етички аспекти на истражувањето	19
4. ТЕОРЕТСКО ИСТРАЖУВАЊЕ НА ЛИТЕРАТУРАТА	21
4.1. Урбан јавен простор и неговата улога во градовите	21
4.1.1. Типологија и просторна дефиниција	21
4.1.2. Мултифункционалната улога на јавниот простор	21
4.2. Еволутивен развој и таксономија на урбаниот мебел	22
4.2.1. Историска генеза: Од функционална неопходност до урбан систем	22
4.2.2. Индустриската револуција и стандардизацијата на просторот	22
4.2.3. Модернизмот и хуманистичкиот пресврт	22
4.3. Ролјата на урбаниот мебел во креирањето на успешни јавни простори	25
4.3.1. Квалитетот на просторот и социјалната релевантност	25
4.3.2. Символичка и функционална типологија	25
4.4. Класификација на урбан мебел	26
4.4.1. Систематизација на урбаниот мебел според типологија на просторот	26
4.4.2. Класификација според функција и услуги	26
4.4.3. Методи на производство и технолошки пристап	27
4.4.4. Класификација според методот на монтирање	27
4.5. Елементи за седење: Ергономија, функционалност и технички аспекти	27
4.5.1. Корисничка диверзификација и избор	27
4.5.2. Технички детерминанти на дизајнот	28
4.5.3. Типологија на седишта	28
4.6. Корпа за отпадоци	29
4.7. Транзитни постојки (засолништа)	31
4.8. Лавици (држачи) за велосипеди	32
4.9. Урбано осветлување	32
4.10. Одржливост во урбаниот дизајн и урбаниот мебел	32
4.10.1. Концептуална рамка и системски пристап	32
4.10.2. Димензии на тројната основа во контекст на урбаниот мебел	32
4.10.3. Нормативни насоки и Крива економија	33
4.10.4. Одржлива урбана опрема: Концепти и стратегии	34
4.10.5. Анализа на столбовите на одржливост при избор на материјали	36
4.10.6. Социо-културен придонес кон одржливото однесување	39
4.11. Анализа на материјали и влијанието врз животната средина	39

4.11.1.	Еколошки прашања и Процена на животен циклус (LCA)	39
4.11.2.	Иновативни и рециклирани материјали	39
4.11.3.	Критериуми за избор според контекстот	40
4.11.4.	Стратегии за долговечност и циркуларност	40
4.11.5.	Компаративна анализа на материјалите и нивната одржливост	42
4.11.6.	Интеграција: Скали, системи и човечко искуство	43
4.12.	Хуманистички и социјални аспекти	43
4.13.	Идни трендови и предизвици	43
4.14.	Преглед на добри практики во дизајнот на урбан мебел	44
4.14.1.	Одржлив урбан мебел со соларна енергија	44
4.14.2.	Паметни автобуски засолништа – „Filtreo,,	45
4.14.3.	Одржлива пешачка патека – минимално влијание врз животната средина	47
4.15.	Корисничко однесување и јавни потреби во урбаните средини	48
4.16.	Сумирање на клучните сознанија	49
5.	УРБАН КОНТЕКСТ И АНАЛИЗА НА ТЕТОВО	50
5.1.	Урбан контекст и анализа на Тетово	50
5.2.	Хронолошки развој на урбаната структура на Тетово	53
5.2.1.	Органската структура во периодот од XV до XIX век	53
5.2.2.	Социјалистичко-модерниот град – Југословенски период	54
5.2.3.	Урбаниот хаос – Современиот постнезависен град	56
5.3.	Анализа на јавните простори и предложени интервенции	58
5.3.1.	Зелени површини и деградација на јавниот простор во Тетово	58
5.3.2.	Предложени интервенции и дизајнерски препораки	61
5.4.	Анализа на постојната урбана опрема	63
5.4.1.	Инвентаризација и проценка на постоечкиот урбани клупи	64
5.4.2.	Компаративна евалуација на постоечкиот урбан мебел	93
5.4.3.	Рангирање и класификација на седечките единици	100
5.4.4.	Проценка на животниот циклус (LCA) на урбаните клупи	103
5.4.5.	Детално моделирање на фазите од животниот циклус (A1, A2 и A3)	104
5.4.6.	Резиме на влезните параметри	105
5.4.7.	Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S3 (со потпирач)	105
5.4.8.	Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S6 (Бетон и дрво)	107
5.4.9.	Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S8 (Хибриден модел)	108
5.4.10.	Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S9 (Целосно метална решетка)	109
5.4.11.	Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S15 (Линеарен метален дизајн)	110
5.4.12.	Компаративна анализа на постојните модели	111
5.4.13.	Инвентаризација и проценка на постоечкиот канти за отпадоци	113
5.4.14.	Анализа на одржливоста	125
5.4.15.	Компаративна анализа и резултати од математичкиот модел	127
5.5.	Заклучоци и препораки	128
5.5.1.	Клучни предизвици и можности: Од контекстуална евалуација до еколошки отпечаток	128
5.5.2.	Синтеза на квалитативните наоди и корисничкото искуство	128
5.5.3.	Квантитативна поткрепа: Резултати од Проценката на животниот циклус (LCA)	128
5.5.4.	Интегрирани импликации за дизајн и одржливост	129
5.5.5.	Насоки за нови дизајнерски сценарија	129
5.6.	Мапирање на недостатоците и потребите од урбан мебел	129
5.7.	Евалуација на потребите на корисниците: Анализа на социјалниот и функционалниот контекст во Тетово	132
5.7.1.	Методолошка рамка и демографски преглед	132
5.7.2.	Приказ и интерпретација на резултатите од истражувањето	132
5.7.3.	Анализа на предлозите од граѓаните за подобрување на јавниот простор во Тетово	135
5.7.4.	Опис и толкување на резултатите	135
6.	АНАЛИЗА НА МАТЕРИЈАЛИ И ОДРЖЛИВОСТ	137
6.1.	Критериуми за избор на материјали	137
6.1.1.	Трајност и отпорност на временски услови	137
6.1.2.	Одржливост и еколошко влијание	137

6.2.	Потреби за одржување	137
6.2.1.	Безбедност и комфор на корисниците	138
6.2.2.	Структурни перформанси	138
6.2.3.	Естетска интеграција и урбан идентитет	138
6.2.4.	Економска исплатливост	138
6.2.5.	Компаративна анализа преку дијаграми на Ешби (Ashby Charts)	139
6.3.	Преглед на избраните материјали	141
6.3.1.	ThermoWood: Термичка модификација и структурна супериорност	141
6.3.2.	Железо / Челик: Структурна улога, заштита и рециклабилност	144
6.3.3.	Алуминиум: техничка и еколошка анализа како конструктивен материјал	147
6.3.4.	Рециклиран полиетилен (rHDPE): Циркуларна економија во урбаниот дизајн	149
6.3.5.	Компаративна анализа на селектираните материјали и нивните комбинации	151
6.4.	Животен циклус и еколошко влијание	153
6.4.1.	Фази на животниот циклус на урбаната опрема	153
6.4.2.	Еколошко влијание на избраните материјали	153
6.5.	Локално набавување и одржување	154
6.5.1.	Локално набавување	154
6.5.2.	Одржување и протоколи за заштита	155
7.	РАЗВОЈ НА ДИЗАЈН КОНЦЕПТОТ (THE TETOVO RIV)	156
7.1.	Цели и стратегија на дизајнот	156
7.2.	Избор на типови опрема	157
7.3.	Ограничувања и барања на дизајнот	157
7.4.	Процес на проектирање	158
7.5.	Принципи на дизајн	158
7.6.	Опис на концептуалните предлози (Анализа на скици)	158
7.7.	Технички параметри на концептите	166
7.7.1.	Ергономски параметри на седење	166
7.7.2.	Конструктивни спецификации на челик и дрво	166
7.7.3.	Урбано позиционирање и паметна технологија	167
7.8.	Сумирање на клучните сознанија	168
8.	ФИНАЛЕН ДИЗАЈН-ПРЕДЛОГ – ОПЦИЈА 1 (ЧЕЛИК + ТЕРМОДРВО)	169
8.1.	Преглед на дизајнот	169
8.2.	Материјална композиција и детализација	169
8.3.	Конструктивно однесување и ергономија	170
8.4.	CAD модели и технички цртежи	170
8.5.	Визуелизации во реален контекст на Тетово	174
8.6.	Изводливост на изведба и проценка на трошоци за Опција 1	176
8.7.	Евалуација на одржливост (LCA / Оцена на животниот циклус)	177
8.7.1.	Детални инженерски пресметки на волумен и маса (Инвентар)	177
8.8.	Избор на метод за евалуација на импактот (LCIA Method)	179
9.	ДИЗАЈН ВАРИЈАНТИ – ОПЦИЈА 2 И ОПЦИЈА 3	182
9.1.	Опција 2: Алуминиумска легура + ThermoWood	182
9.2.	Опција 3: Алуминиум + рециклиран отпаден материјал (rHDPE)	184
10.	ЕВАЛУАЦИЈА И ДИСКУСИЈА	191
10.1.1.	Клучни наоди од истражувањето и дизајнот	191
7.	Функционална анализа и сценарија за примена на предложениот модел	194
10.2.	Предизвици во текот на истражувањето	200
10.3.	Ограничувања на студијата	200
11.	ЗАКЛУЧОК	201
12.	ЛИТЕРАТУРА И РЕФЕРЕНЦИ	203
	ПРИЛОГ А:	208
	СПИСОК НА ОБЈЕВЕНИ ТРУДОВИ	210
	БИОГРАФИЈА	211
	АВТОРЕЗИМЕ	213

1. ВОВЕД

Современите градови се соочуваат со комплексни предизвици кои произлегуваат од брзата урбанизација, климатските промени и растечките социјални нееднаквости. Во овој контекст, јавниот простор и урбаниот мебел стануваат клучни елементи во градењето на одржливи, инклузивни и човекоцентрични урбани средини. Урбаниот мебел не претставува само функционален сет на објекти за седење, осветлување или одмор, туку и посредник меѓу човекот, просторот и општеството, кој го обликува секојдневното искуство и колективната култура на живеење во градот.

Во научната и стручната литература, одржливиот урбан дизајн се разгледува како интердисциплинарна практика која ги интегрира архитектурата, дизајнот, екологијата, социологијата и економијата, со цел да се создадат простори што се отпорни, функционални и социјално праведни (Carmona, 2019; Gehl, 2010). Ваквиот пристап подразбира дека одржливоста не е само техничка или еколошка категорија, туку и етичка и културна вредност што се рефлектира во секој аспект на урбаното живеење.

Истражувањето во оваа дисертација се фокусира на градот Тетово – пример на балкански урбан центар со изразена просторна и социјална хетерогеност, во кој се испреплетуваат традиционални и современи урбани практики. Недоволната интеграција на принципите на одржливост во локалното урбано планирање резултира со недоволно искористени јавни простори и неусогласен урбан мебел кој не ги одразува потребите и вредностите на заедницата.

Затоа, целта на ова истражување е да развие иновативен, одржлив и партиципативен модел за дизајн на урбан мебел, кој ќе ја промовира социјалната инклузивност, еколошката ефикасност и долготрајната естетска вредност на јавните простори. Преку интердисциплинарен пристап што комбинира емпириско истражување, анализа на искуства и партиципативен дизајн, оваа дисертација има за цел да даде научен и применлив придонес во областа на одржливиот урбан дизајн во Северна Македонија и пошироко.

1.1. Истражувачка позадина

Во контекст на забрзаната урбанизација и растечките предизвици поврзани со животната средина, концептот на одржлив урбан дизајн станува суштински дел од современото планирање и обликување на градските простори. Јавните простори се сметаат за огледало на социјалната, културната и еколошката динамика на еден град, а урбаниот мебел претставува нивен неразделен и симболичен елемент.

Во последните децении, интересот за одржливи решенија во урбаниот мебел значително се зголеми, особено во контекст на европските градови каде што дизајнот се интегрира со принципите на економична употреба на ресурси, долготрајност и социјална инклузивност (Gehl, 2010; Carmona et al., 2012). Одржливиот урбан мебел се третира не само како физички производ, туку и како медијатор меѓу човекот и просторот, кој влијае на начинот на користење, доживување и социјална интеракција во јавните простори.

Градот Тетово, како динамичен урбан центар во Северна Македонија, се соочува со низа предизвици поврзани со планирањето и одржувањето на јавните простори, како и со недостаток на современи, функционални и еколошки решенија во урбаниот мебел. Урбаниот мебел често е резултат на ад-хок интервенции, без јасна стратегија, унифицирани критериуми или долгорочна визија. Многу од постојните елементи се нефункционални, слабо одржувани или несоодветни за локалниот контекст, што придонесува за деградација

на јавниот простор. Истовремено, современите принципи на одржлив дизајн — како што се циркуларната економија, модуларноста и употребата на еколошки материјали — ретко се систематски применети во локалната практика.

Оваа дисертација се позиционира на пресекот меѓу урбаниот дизајн, одржливоста и корисничкото искуство, со цел да истражи како преку подобро дизајниран урбан мебел може да се подобри функционалниот и еколошкиот квалитет на јавните простори во Тетово.

1.2. Дефинирање на проблемот

И покрај зголемената свест за важноста на одржливиот дизајн, постојните јавни простори во Тетово често се карактеризираат со недоволна функционалност, несоодветна естетика и слаба прилагодливост кон потребите на различните групи корисници. Урбаниот мебел во градот најчесто не е дизајниран во согласност со принципите на еколошка ефикасност, ергономија и инклузивност, ниту пак ги рефлектира специфичните социо-културни карактеристики на заедницата.

Дополнително, во процесот на планирање ретко се вклучуваат граѓаните како активни учесници, иако нивните ставови и секојдневни искуства претставуваат вреден извор на податоци за подобрување на дизајнот на јавните простори. Недостигот од ваков партиципативен пристап резултира со простори и урбани елементи што често не ги задоволуваат реалните потреби на корисниците и не придонесуваат за социјална кохезија и одржливост.

Проблемот не е само во физичката состојба на урбаниот мебел, туку и во отсуството на јасни критериуми за негово планирање, дизајн и одржување. Ова резултира со јавни простори кои не ги задоволуваат потребите на различни кориснички групи и не придонесуваат за одржлив урбан развој. Оттука, се јавува потреба од истражување што ќе ги идентификува овие недостатоци и ќе понуди интегриран дизајнерски одговор.

1.3. Цели на истражувањето

Целта на оваа дисертација е да се испита како примената на принципите на одржлив дизајн во урбаниот мебел може да придонесе кон подобрување на функционалниот, еколошкиот и социјалниот квалитет на јавните простори во градот Тетово. Од оваа главна цел произлегуваат следните специфични цели:

1. Да се идентификуваат клучните проблеми поврзани со одржливоста и дизајнот на урбаниот мебел во Тетово.
2. Да се анализираат постојните јавни простори и нивната опременост во однос на функционалност, одржливост и естетика.
3. Да се селектираат и тестираат материјали со ниска еколошка трага, погодни за локална примена.
4. Да се применат принципите на човечко искуство и психолошка перцепција во дизајнот на урбаниот мебел, со цел подобрување на комфорот и благосостојбата на корисниците.
5. Да се примени методот на дигитална партиципација преку дистрибуиран структуриран прашалник, со цел да се евалуираат субјективните кориснички перцепции за комфорот и да се интегрираат потребите на граѓаните во развојот на новите концепти.
6. Да се предложат и евалуираат три специфични дизајнерски сценарија за супституција на материјалите (Челик + ThermoWood, Алуминиум + ThermoWood, и

Алуминиум + рециклиран материјал), со цел да се демонстрира практичната примена на кружната економија во урбаниот дизајн.

1.4. Методологија на истражување

За потребите на овој докторски труд е применет сеопфатен методолошки пристап кој овозможува темелна анализа на предметната материја. Истражувањето започнува со методот на преглед на литература, преку кој е воспоставена теоретската рамка и се идентификувани досегашните научни сознанија во оваа област. Со примена на методите на анализа и синтеза, собраните податоци се детално обработени и интегрирани во логички целини. Емпирискиот дел од трудот се потпира на методот на опсервација (набљудување) на терен и спроведување на анкетаирање меѓу релевантни целни групи, со цел прибирање примарни податоци. Дополнително, преку методот на споредба се извршени компаративни анализи на различните модели и решенија. Посебен фокус е ставен на техничките пресметки, кои беа клучни за прецизно утврдување на техничките и еколошките параметри на објектите во фокусот на истражувањето. Ваквата комбинирана методологија гарантира висок степен на објективност и релевантност на добиените резултати.

1.5. Истражувачки прашања и хипотези

Истражувањето се води од следните прашања:

- Какви се ергономските и еколошките перформанси (изразен преку вградениот јаглороден отпечаток во фазата A1) на постојните моделски решенија за урбан мебел во Тетово?
- Дали супституцијата на конвенционалното меко дрво со супериорни алтернативи како ThermoWood или рециклиран материјал придонесува за намалување на токсичните емисии (VOC) од тековното одржување?
- Како граѓаните на Тетово ја перципираат врската помеѓу физичкиот комфор (ергономијата), паметните технологии на урбаниот мебел и нивната подготвеност за социјална интеракција во јавниот простор?
- Во која мера имплементацијата на кружниот концепт „Waste-to-Asset“ (рециклиран алуминиум и HDPE) може да го минимизира Потенцијалот за глобално затоплување (GWP) на урбаниот мебел во споредба со традиционалните материјали?

Врз основа на овие прашања, се формулираат следните хипотези:

- **Хипотеза 1:** Постојниот урбан мебел во Тетово покажува ниски ергономски перформанси и висок јаглороден отпечаток во фазата A1, што може значајно да се оптимизира преку воведување на лесни метални конструкции со низок емисионен фактор.
- **Хипотеза 2:** Супституцијата на традиционалното меко дрво со термички третирано дрво (ThermoWood) или рециклиран материјал во контактните површини, драстично ќе го намали еколошкиот товар во однос на заштитните премази (VOC) и ќе ја спречи деградацијата од влага.
- **Хипотеза 3:** Постои директна корелација помеѓу хуманоцентричниот дизајн на клупите (ергономија, паметни функции, заштита од вода) и подготвеноста на граѓаните за подолг социјален престој во јавниот простор на Тетово.
- **Хипотеза 4:** Имплементацијата на "Waste-to-Asset" концепт (рециклиран алуминиум и HDPE) во урбаниот дизајн овозможува драстично намалување на вкупниот

Потенцијал за глобално затоплување (GWP) во рамките на „Cradle-to-Gate“ анализите, нудејќи реплицирачки модел за други транзициски градови.

1.6. Опсег и ограничувања на истражувањето

Истражувањето е фокусирано на јавните простори во градот Тетово, со посебен акцент на нивната опременост со урбан мебел. Истражувачкиот опсег опфаќа:

- Анализа на постојната состојба и квалитет на јавните простори;
- Испитување на перцепцијата и потребите на жителите;
- Дизајнирање и теоретска разработка на одржливи решенија за урбан мебел;
- Развој на препораки за интеграција на резултатите во идните планови и стратегии за урбано уредување.

Ограничувањата се однесуваат на:

- Географскиот опфат (град Тетово и непосредната околина);
- Временските рамки и можноста за практично тестирање на дизајните;
- Делумно субјективниот карактер на податоците добиени преку партиципативни методи (мислења и перцепции).

1.7. Структура на дисертацијата

Дисертацијата е структурирана во десет поглавја. Првото поглавје ја поставува истражувачката рамка и ги дефинира целите и прашањата. Второто и третото поглавје ги објаснува досегашните истражувања и методологијата на истражување. Четвртото поглавје дава теоретска основа и преглед на релевантната литература. Петтото поглавје ја анализира урбаната состојба и јавните простори во Тетово. Шестото и седмото поглавје се фокусираат на материјалите и развојот на дизајн-концептот. Осмото и деветтото поглавје ги презентираат финалните дизајн-предлози и нивната споредба. Десеттото поглавје ги дискутира резултатите, додека последното поглавје ги сумира заклучоците и дава препораки.

2. ПРЕГЛЕД НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ТЕОРЕТСКА РАМКА

2.1. Урбана опрема и одржливост во современиот еко-инженеринг

Урбаната опрема претставува клучен сегмент во дефинирањето на метаболизмот на современиот град. Досегашните истражувања (Jones et al., 2022) укажуваат на тоа дека малите архитектонски форми, иако индивидуално со мал волумен, колективно акумулираат значителен еколошки отпечаток. Во контекст на градот Тетово, каде што забрзаната урбанизација наметнува потреба од нови јавни простори, евалуацијата на елементите како што се корпите за отпадоци и клупите веќе не е само прашање на естетика, туку на инженерска одржливост.

2.2. Предизвици на LCA методологијата во микро-инфраструктурата

Процената на животниот циклус (Life Cycle Assessment - LCA), дефинирана според стандардите ISO 14040/44, е востановена како најефикасен инструмент за квантифицирање на влијанијата врз животната средина. Сепак, анализите на Smith и Brown (2021) покажуваат дека најголем предизвик е прецизноста на фазата на Инвентар (LCI).

За разлика од големите градежни конструкции, каде што се дозволени одредени отстапки, кај урбаната опрема прецизното дефинирање на густината на материјалот (ρ) и волуменот (V) е пресудно. Во овој труд, волуметриските пресметки за бетонските странични елементи (V_{side}) и нивната соодветна маса (m) не се само геометриски податоци, туку критични параметри кои директно влијаат на крајниот еколошки резултат.

2.3. Квантитативна анализа на GWP и енергетскиот интензитет на материјалите

Една од клучните метрики во ова истражување е Потенцијалот на глобално затоплување (Global Warming Potential - GWP). Литературниот преглед укажува на голема варијабилност во емисионите фактори за бетонот и дрвото во зависност од нивното потекло и обработка.

- **Бетонски компоненти:** Поради високата енергија вградена во производството на цемент, бетонските елементи значително придонесуваат кон зголемување на GWP.

- **Дрвени компоненти:** Дрвото, како материјал кој складира јаглерод, нуди можност за балансирање на вкупните емисии.

Според математичкиот модел развиен во овој труд, за специфичната конфигурација означена како „Опција 1“, вредноста на GWP е прецизно утврдена на 155.89 kg CO₂eq. Оваа вредност служи како референтна точка за споредба со стандардните решенија кои се користат во Тетово, овозможувајќи транзиција кон ниско-јаглеродна инфраструктура (Miller, 2023).

2.4. Состојба во Тетово и идентификување на истражувачкиот јаз (Research Gap)

Иако постојат бројни глобални студии за LCA во градежништвото, постои сериозен недостаток на податоци за регионот на Западниот Балкан, а специфично за Северна Македонија. Тековните практики во општина Тетово главно се потпираат на традиционални методи на набавка без претходна анализа на еколошките перформанси на опремата.

Ова истражување го пополнува тој празен простор преку:

1. Систематизација на техничките спецификации на постоечката опрема.
2. Интегрирање на математички формули за маса и волумен во еколошкиот модел.
3. Предлагање на оптимизиран модел кој ги намалува емисиите без да ја наруши структурната стабилност.

3. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

3.1. Пристап на истражувањето

Истражувањето применува комбиниран методолошки пристап (mixed-methods design), кој систематски ги интегрира квалитативните кориснички перцепции со квантитативните еколошки и конструктивни пресметки. Дизајнот на урбаниот мебел претставува интердисциплинарно поле каде што социјалната кохезија, ергономијата и индустриската екологија се преплетуваат (Carmona, 2019; Gehl, 2010). Поради тоа, користењето на единечен метод не би било доволно за да се опфати комплексноста на проблемот во градот Тетово.

Истражувачката архитектура се заснова на принципот на методолошка триангулација и е поделена во три последователни фази:

1. Емпириско-дијагностичка фаза: Теренска инвентаризација на постојните типологии на урбана опрема во Тетово и евалуација на корисничките ставови преку дигитална социјална партиципација.
2. Инженерско-аналитичка фаза (LCA моделирање): Квантитативно одредување на еколошкиот отпечаток на репрезентативните модели и мапирање на емисионите „жаришта“ (hotspots).
3. Синтетичко-дизајнерска фаза: Развој на три нови еколошки оптимизирани и паметни дизајн-сценарија и нивна споредбена евалуација (Comparative LCA) со постојната состојба.

3.2. Методи за прибирање податоци

3.2.1. Дигитална партиципација (Анкетен прашалник)

Со цел да се надминат просторните и логистичките ограничувања, а притоа да се обезбеди вклученост на хетероген примерок од населението, истражувањето применува метод на дигитална социјална партиципација. Примарниот инструмент за прибирање податоци е структуриран онлајн анкетен прашалник, дистрибуиран до граѓаните на Тетово (Dillman et al., 2014).

Прашалникот е конфигуриран во пет сегменти и има за цел да ги евалуира:

- Фреквенцијата и карактерот на користење на јавните простори.
- Субјективните ергономски и термички перформанси на постојниот урбан мебел.
- Приоритетите на граѓаните во однос на воведувањето на паметни технологии (smart design) и интегрираното зеленило.
- Подготвеноста на заедницата за прифаќање на алтернативни, рециклирани материјали (HDPE).

3.2.2. Теренска детекција и просторна инвентаризација

Теренските набљудувања се спроведени на клучни урбани локации во Тетово (Градскиот плоштад, Кејот на реката Пена, Градскиот парк и транзитните зони). Процесот опфаќа физичко и визуелно мапирање на постојната урбана опрема (седишта, корпи за отпадоци и осветлување).

Секој идентификуван модел е подложен на систематско оценување преку мултикритериумска матрица за бодување (Scoring Matrix) со вредности од 1 (најниско) до 5 (највисоко) во рамките на пет клучни домени:

- Ергономија и комфор (наклон, димензии, наслони).
- Издржливост на материјалите (деградација, корозија, вандализам).
- Потребата од одржување (премази, чистење).
- Универзален дизајн (пристапност за ранливи групи).
- Контекстуална и естетска интеграција во просторот (Polič et al., 2002).

3.3. Методолошка рамка за проценка на животниот циклус (LCA)

За научно квантифицирање на еколошката одржливост на урбаниот мебел, во ова истражување се користи методот Проценка на животниот циклус (Life Cycle Assessment - LCA), во согласност со меѓународните стандарди ISO 14040 (2006) и ISO 14044 (2006).

LCA претставува холистичка, научно заснована алатка која овозможува евалуација на сите влезови (материјали, енергија) и излези (емисии во воздух, вода, почва) во текот на животниот век на еден производ (Klöppfer & Grahl, 2014).

Согласно стандардот ISO 14040 (2006), процесот на LCA се спроведува низ четири меѓусебно поврзани фази:

1. Дефинирање на целта и опсегот

- Цел: Споредбена анализа на Потенцијалот за глобално затоплување (GWP, изразен во kg CO₂e) помеѓу постојните критични модели на клупи во Тетово (S3, S6, S8, S9, S15) и трите нови предложени дизајн-сценарија.
- Функционална единица: Единечен елемент на урбан мебел (клуба) со стандардизирана должина од 180 cm и проектиран животен век од 20 години.
- Граници на системот: Истражувањето применува пристап „од колепка до порта“ (Cradle-to-Gate) кој ги опфаќа модулите A1–A3 согласно европскиот стандард EN 15804:
 - A1 (Набавка на сировини): Екстракција на руди, сеча на дрво, синтеза на полимери.
 - A2 (Транспорт): Логистички текови до производниот погон.
 - A3 (Производство): Потрошувачка на електрична енергија и гасови за заварување, сечење, виткање и завршни заштитни премази со испарливи органски соединенија (VOC).

2. Анализа на инвентарот (Life Cycle Inventory - LCI)

Оваа фаза опфаќа детален попис на сите инволвирани материјали пресметани врз основа на техничките спецификации и цртежи на моделите. Податоците за материјалните маси и енергетските процеси се внесуваат во софтверот openLCA, користејќи ги релевантните бази на податоци (ICE Database v3.0, Agribalyse) за емисионите фактори на специфичните локални и регионални материјални текови.

3. Проценка на влијанието врз животната средина (Life Cycle Impact Assessment - LCIA)

Евалуацијата е фокусирана на пресметка на карактеристичниот индикатор за климатски промени — GWP (Global Warming Potential) за временски хоризонт од 100 години.

$$GWP_{total} = \sum (M_i \times EF_i) + E_{process}$$

Каде што:

- M_i е вкупната маса на вградениот материјал i во структурата на клупата (kg).
- EF_i е карактеристичниот емисионен фактор на материјалот i (kg CO₂e / kg).
- $E_{process}$ се еквивалентните емисии генерирани од потрошувачката на енергија при обработката и заштитата во фазата A3 (kg CO₂e).

4. Интерпретација на резултатите

Идентификација на еколошките „жаришта“ (hotspots) во структурата на постојниот мебел (најчесто кај примарниот челик и тешките завршни лакови) и дефинирање на јасни насоки за нивна супституција кај новите проекти.

3.4. Методологија на дизајнерски развој и синтеза

Процесот на креирање на новите модели на урбан мебел не се третира како изолиран естетски чин, туку како дизајн информиран од податоци. Добиените квантитативни показатели од LCA евалуацијата на постојната состојба и барањата на граѓаните од онлајн анкетата се директни влезни параметри за дефинирање на новите геометриски и конструктивни решенија.

Развојниот процес се одвива низ три фази:

1. Идејно моделирање (Рачни скици): Креирање на форми кои спречуваат стагнација на вода, ја подобруваат ергономијата и го олеснуваат чистењето.

2. Техничко цртање (Adobe Illustrator): Дигитална разработка на векторски цртежи со прецизни дебелзини на металните профили и пресметка на пресеци.

3. Материјализација на три нови концептуални сценарија:

- Сценарио А: Конструкција од конструктивен челик во комбинација со термички третирано дрво (ThermoWood).
- Сценарио Б: Конструкција од рециклиран алуминиум со ThermoWood летви.
- Сценарио В (Кружен модел): Конструкција од рециклиран алуминиум со седишта од рециклиран полимер со висока густина (HDPE).

3.5. Методологија на споредбена евалуација

За научно да се верификува и потврди супериорноста на новите дизајнерски решенија, се применува двостепена споредбена евалуација:

1. Споредбена LCA пресметка

Трите нови сценарија се подложуваат на детални материјални пресметки. Нивните инвентари се моделираат во софтверот openLCA под апсолутно идентични системски граници (A1–A3) и емисионими фактори како постојните модели. Ова овозможува егзактна графичка и математичка споредба на заштедите на CO₂ емисиите.

2. Споредбено бодување преку Scoring матрицата

Новите модели повторно се оценуваат со истата матрица од 1 до 5 користена при теренското истражување. Овој чекор научно докажува дека супституцијата на материјалите и редизајнот не само што го намалуваат јаглеродниот отпечаток, туку истовремено ги подобруваат ергономијата, социјалната кохезија и паметната функционалност.

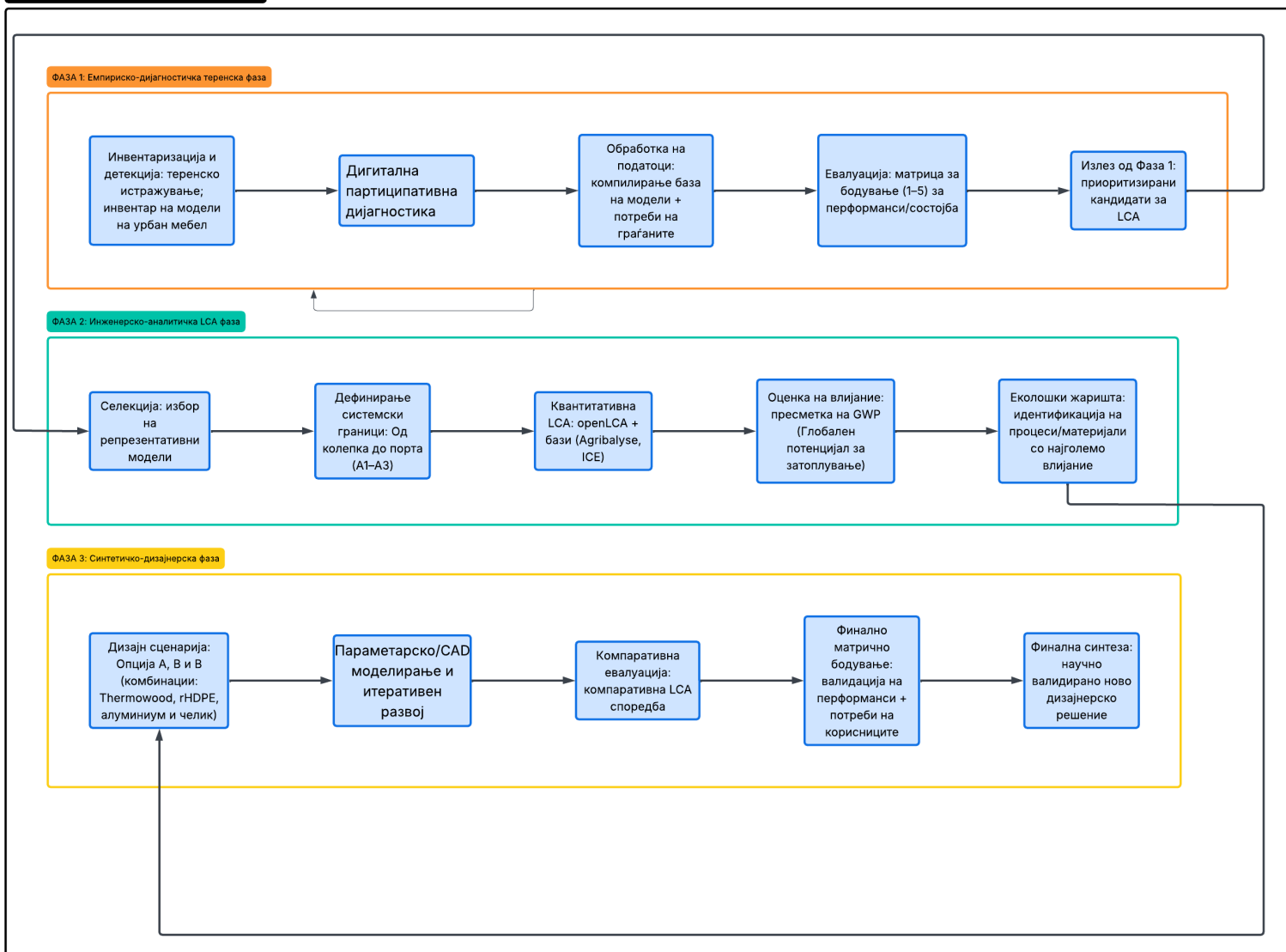
3.6. Образложување на методолошките избори

Изборот на оваа комбинирана методологија е во целосна корелација со целите на дисертацијата. Користењето на дигиталната анкета овозможува брза и демократска партиципација на заедницата во услови на логистички ограничувања (Dillman et al., 2014). Истовремено, строгата примена на софтверски алатки за животен циклус (LCA) го издигнува трудот над нивото на субјективно дизајнерско планирање, нудејќи емпириски и математички докажани еколошки решенија за градот Тетово (ISO 14040, 2006).

3.7. Етички аспекти на истражувањето

Истражувањето е спроведено со целосно почитување на етичките кодекси во научната дејност:

- Обезбедена е целосна анонимност на сите учесници во дигиталната анкета согласно стандардните истражувачки практики (Flick, 2018).
- Примени се принципи на информирана согласност за користење на податоците во научни цели.
- Еколошките податоци се засновани на транспарентни бази, без манипулација на параметрите при LCA моделирањето во софтверот.



Слика 3.1. Блок-дијаграм на истражувачкиот процес, кој ја прикажува транзицијата од теренска инвентаризација и дигитална партиципација, преку квантитативна проценка на животниот циклус (LCA), до финална дизајнерска синтеза и евалуација

4. ТЕОРЕТСКО ИСТРАЖУВАЊЕ НА ЛИТЕРАТУРАТА

4.1. Урбан јавен простор и неговата улога во градовите

Јавниот простор не претставува само физичка празнина меѓу објектите, туку суштинска „урбана предност“ (UN-Habitat, 2015) која дејствува како сврзно ткиво на социјалните и еколошките системи во градот. Современата теорија, предводена од автори како Gehl (2010) и Madanipour (2013), сугерира дека квалитетот на јавниот простор е примарен индикатор за демократскиот карактер на урбаната средина.

Иако литературата често го идеализира јавниот простор како универзално достапна „арена“, во реалноста се соочуваме со процес на забрзана ерозија на неговиот јавен карактер. Како што аргументираат Mitchell (2003) и Harvey (2012), процесите на приватизација и приоритизација на економскиот профит доведуваат до тоа јавните простори сè повеќе да се претвораат во контролирани и комерцијализирани зони, со што се исклучуваат маргинализираните групи.

4.1.1. Типологија и просторна дефиниција

За прецизно научно дефинирање на јавниот простор, неопходно е разграничување помеѓу „изградената област“ и „градот“ како функционална целина (UN-Habitat, 2025). Според Повелбата за јавен простор (Biennial of Public Space, 2013), неговиот дефинирачки карактер е бесплатниот и универзален пристап.

Типологијата на јавниот простор во ова истражување се структурира низ четири клучни столба:

1. **Улици:** Како мултифункционални сообраќајници каде се преплетуваат мобилноста и социјалната сцена (Jacobs, 1961).
2. **Отворени јавни простори:** Паркови и крајбрежја кои ја одржуваат еколошката рамнотежа.
3. **Јавни објекти:** Инфраструктура која нуди услуги без профитна цел.
4. **Комерцијални јавни простори:** Пазари и базари како јадра на неформалната економија.

4.1.2. Мултифункционалната улога на јавниот простор

Јавниот простор функционира како „скелет“ на градот (Gehl, 2010). Тој не само што ја олеснува мобилноста, туку претставува стратешка алатка за решавање на комплексни проблеми како климатската отпорност и јавното здравје.

Постои видлив јаз помеѓу теоретското дефинирање на јавните простори како „инклузивни“ и нивната практична реализација. Лошото планирање и недостигот на соодветна урбана опрема често ги трансформираат овие простори во „небезбедни празнини“ кои ги исклучуваат жените, децата и лицата со попреченост. Инвестирањето во квалитетен урбан дизајн, оттука, не треба да се гледа како естетска грижа, туку како стратешка економска неопходност за зголемување на вредноста на недвижностите и социјалната кохезија.

4.2. Еволутивен развој и таксономија на урбаниот мебел

4.2.1. Историска генеза: Од функционална неопходност до урбан систем

Корените на урбаниот мебел датираат уште од антиката, каде првите елементи како римските пресвртници и коритата за коњи служеле како примарна поддршка за патната инфраструктура (Keskin, 2008). Сепак, формалното дефинирање на овој термин се појавува дури во 1950-тите, означувајќи го преминот од изолирани објекти кон систематски елементи на јавниот простор (Direktor A., 2021).

Иако почетоците на урбаната опрема се врзуваат за чиста функционалност, нејзината еволуција покажува дека дизајнот отсекогаш бил рефлексивна на достапната технологија и социо-економската моќ. На пример, воведувањето на гасните светилки во Лондон (1807) не беше само технолошки напредок, туку стратешка интервенција за зголемување на безбедноста и контрола на криминалитетот во градот (Lynda, 2000).

4.2.2. Индустриската револуција и стандардизацијата на просторот

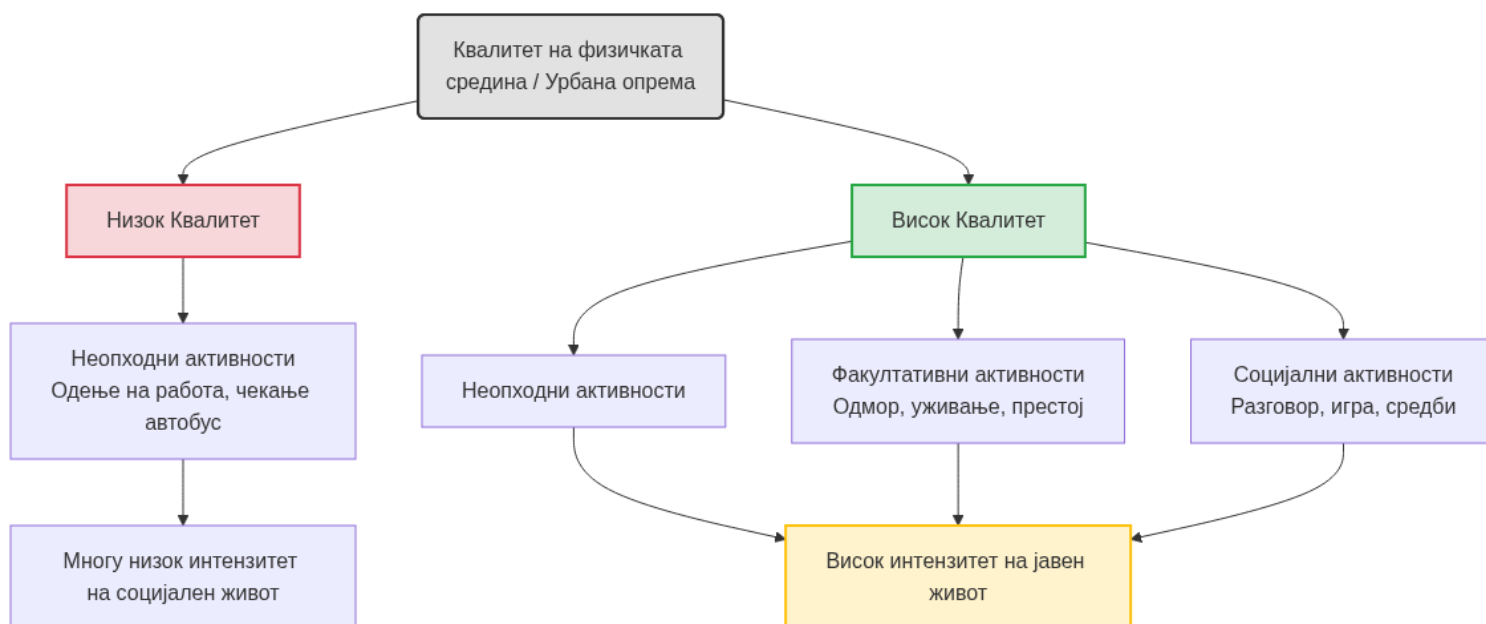
Индустриската револуција го трансформираше јавниот простор преку масовно производство и воведување на нови материјали како леаното железо. Најзначајниот пример за оваа трансформација е Париз под водство на Барон Хаусман (1853-1871), каде за првпат е воспоставен кохерентен систем на урбан мебел (киосци, светилки, фонтани) кој стана глобален модел за имитација (Antoine P., 2023).

Трансформацијата на Хаусман, иако визуелно импресивна, го вовеле концептот на „стандардизација“ кој често го занемарува локалниот идентитет во корист на индустриската ефикасност. Овој период го означува почетокот на доминацијата на материјалите со висок енергетски интензитет, што денес претставува основен предизвик од аспект на Life Cycle Assessment (LCA).

4.2.3. Модернизмот и хуманистичкиот пресврт

По Втората светска војна, фокусот се помести од обнова на инфраструктурата кон хуманизација на просторот. Во 1970-тите, урбаниот дизајн почна да се прилагодува на човековото однесување, кулминирајќи со истражувањата на Jan Gehl (2010). Тој ги дефинираше јавните активности како неопходни, автономни и општествени, нагласувајќи дека мебелот е клучниот катализатор за социјална интеракција.

Денес, во 21-от век, урбаниот мебел се соочува со нова парадигма: одржливост и паметни технологии. Наместо само функционални објекти, сега се стремевме кон еколошки одговорни решенија кои користат одржливи материјали и придонесуваат кон климатската отпорност на градот.



Слика 4.1 Влијанието на квалитетот на урбаната опрема врз интензитетот на јавните активности (адаптирано според Gehl, 2010)

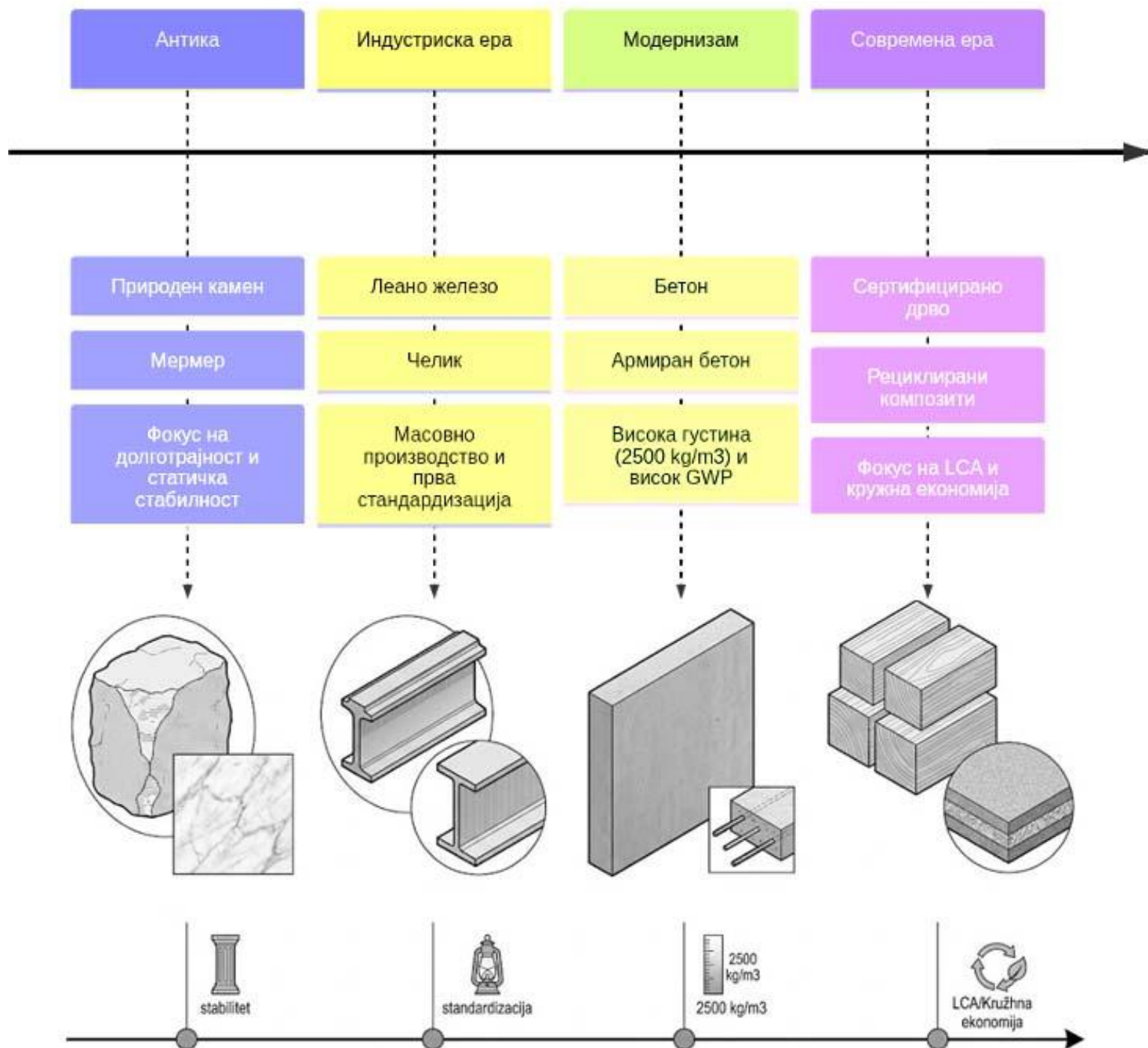
Слика 4.1 претставува синтетизиран модел на теоријата на Gehl, применет врз влијанието на урбаната опрема како детерминанта за социјална активација на јавните простори. Преку овој алгоритам на однесување, се дефинираат два клучни развојни правци на јавниот живот во зависност од квалитативните карактеристики на физичкиот контекст.

Левиот сектор на дијаграмот го илустрира сценариото каде урбаната опрема не ги задоволува ергономските, термичките или естетските стандарди. Во вакви услови, јавната сфера се редуцира исклучиво на неопходни активности. Овие дејствија (одење на работа, чекање превоз) се карактеризираат со висок степен на функционална присила и низок степен на слободен избор. Крајната консеквенца е просторна алиенација и екстремно низок социјален интензитет, каде просторот служи само за транзит, а не за престој.

Десниот сектор на дијаграмот го прикажува идеалниот модел; кога урбаната опрема нуди висок квалитет, таа дејствува како катализатор кој ги отклучува факултативните (изборни) активности.

- **Факултативни активности:** граѓаните свесно избираат да го поминат своето време во просторот (одмор, рекреација, пасивно набљудување) токму поради физичкиот комфор.
- **Социјални активности:** овие активности се директен дериват (резултат) од претходните две. Кога луѓето ќе се задржат во просторот подолго време, веројатноста за социјална интеракција, дијалог и заедница се зголемува еномно.

Еволуција на материјалите во урбаната опрема



Слика 4.2 Хронолошки развој и илустрација на материјалите во урбаната опрема

4.3. Ролјата на урбаниот мебел во креирањето на успешни јавни простори

4.3.1. Квалитетот на просторот и социјалната релевантност

Успехот на еден јавен простор не се мери само преку неговата големина, туку преку неговата искористеност. Истражувањата на William H. Whyte (1980) ја потврдуваат тезата дека дури и во најгустите деловни квартави, отворените простори остануваат празни доколку не нудат соодветни услови за престој. Клучниот фактор што го трансформира „просторот“ во „место“ е токму квалитетниот и стратешки поставен урбан мебел.

Според Mark Francis (2003) и методологијата на Project for Public Spaces (PPS), успешните простори поседуваат четири квалитети: пристапност, активност, удобност и дружељубивост. Во овој контекст, седењето не е само физичка функција, туку катализатор за социјални активности како јадење, читање и меѓучовечка интеракција.

Додека класичните автори како Clare Cooper Marcus и Carolyn Francis нагласуваат дека мебелот го прави просторот „употреблив“, во современиот контекст на одржливост мора да додадеме и една нова димензија: менталното здравје (1997). Како што сугерира William Sullivan (2005), контактот со природата преку урбаната опрема (клучи под дрвја, зелени зони) е клучен за закрепнување од психолошкиот стрес. Оттука, урбаниот мебел престанува да биде само технички додаток и станува инструмент за јавното здравје.

4.3.2. Симболичка и функционална типологија

Урбаниот мебел има двојна природа:

1. **Симболичка улога:** Тој испраќа порака за инклузивност (ова место е за вас) и го гради идентитетот на градот (пр. црвените говорници во Лондон или столчињата во Луксембуршките градини, слика 4.3). Мебелот е медиум преку кој се изразуваат социјалните и еколошките вредности на заедницата.

2. **Функционална улога:** Обезбедува ергономска поддршка, одржува хигиена (канти за отпад) и го дефинира визуелниот ред во просторот. Пример е *Daley Plaza* во Чикаго, каде мебелот не е само за седење, туку служи како граница што го дефинира централниот простор за настани.



Слика 4.3 Столчињата на Луксембуршките градини (Извор: <https://www.jardin.co.nz>)

4.4. Класификација на урбан мебел

4.4.1. Систематизација на урбаниот мебел според типологија на просторот

За подобра имплементација и дизајн на урбаната опрема, неопходно е да се разбере дека различните типови простори диктираат специфични барања за мебел. Врз основа на истражувањата на Main & Hannah (2010), во табела 4.1 е претставена класификација на урбаните простори и клучните насоки за избор на опрема.

Табела 4.1 Класификација на простори и специфични барања за урбан мебел (Извор: Адаптирано според Main & Hannah, 2010).

Тип на простор	Карактеристики на користење	Клучни елементи на мебел	Насоки за дизајн и поставување
Транзитни зони (Улици)	Краток престој, висок проток на движење.	Столпчиња (bollards), канти за отпад, информативни табли.	Фокус на безбедност, издржливост и небокирање на пешачките патеки.
Централни деловни дистрикти	Паузи за ручек, социјални средби, висок сообраќај.	Групни седишта, маси, држачи за велосипеди.	Висок естетски стандард и отпорност на интензивно користење.
Рекреативни зони (Паркови)	Долг престој, одмор, активна рекреација.	Клупи со ергономска поддршка, маси за пикник, жардиниери.	Интеграција со природата и избор на материјали со низок LCA.
Станбени соседства	Секојдневно користење од локални жители, деца и постари лица.	Детски игралишта, клупи во засенчени зони.	Фокус на инклузивност, пристапност и чувство на заедница.
Комерцијални платоа	Економска активност, чекање, социјализација.	Канти за отпад, осветлување, мобилни седишта.	Модуларност и способност за трансформација на просторот.

Оваа поделба на Main & Hannah ја нагласува функционалната страна на мебелот, но во контекст на оваа докторска дисертација, истата мора да се надгради со димензијата на материјалната одржливост. Изборот на мебел за „Транзитни зони“ често фаворизира метал поради анти-вандализам, додека за „Рекреативните зони“ дрвото е поповолно поради биофилните ефекти. Ова ја потврдува тезата дека дизајнот на мебелот мора да биде во симбиоза со еколошките цели на урбаниот систем.

4.4.2. Класификација според функција и услуги

Според методологијата на Carmona (1985) и во насока на воспоставените стандарди за планирање на отворени објекти (Certeu, 1985), урбаниот мебел се дели на следните функционални групи:

- **Информации и комуникација:** Градски мапи, часовници, билборди и поштенски сандачиња.
- **Заштита и безбедност:** Огради, столпчиња (bollards) и противпожарни хидранти.
- **Рекреација и санитација:** Клупи, фонтани за пиење и корпи за отпадоци.
- **Техничка инфраструктура:** Осветлување, станици за полнење и јавен превоз.

4.4.3. Методи на производство и технолошки пристап

Разликата помеѓу масовното производство и прототипирањето е клучна за разбирање на економската и еколошката одржливост на дизајнот (табела 4.2).

Табела 4.2 Компаративна анализа: Масовно производство vs. Прототипирање

Карактеристика	Масовно производство	Прототипирање
Количина	Големи серии на идентични елементи.	Уникатни примероци или мали серии.
Цел	Економска достапност и функционалност.	Тестирање на дизајн, ергономија и LCA.
Материјали	Стандардизирани (метал, бетон, пластика).	Разновидни, експериментални материјали.
Процес	Автоматизирани монтажни линии.	Рачна изработка или 3D печатење.
Еколошки отисок	Оптимизиран по единица, но висок вкупно.	Висок по единица поради рачна изработка.

4.4.4. Класификација според методот на монтирање

Начинот на кој мебелот е поврзан со подлогата ја диктира флексибилноста на просторот:

- **Мобилен мебел:** Лесни структури (склопливи столчиња, бариери) кои овозможуваат прилагодување на просторот за различни настани.
- **Полуподвижен мебел:** Тешки елементи (големи жардиниери, масивни клупи) кои нудат стабилност, но можат да се преместат со соодветна опрема.
- **Фиксен мебел:** Трајно прицврстени елементи за подлогата, обезбедувајќи максимална издржливост и безбедност (вградени корпи за отпад, фиксни столпчиња).

4.5. Елементи за седење: Ергономија, функционалност и технички аспекти

Елементите за седење претставуваат најинтимниот дел од урбаната опрема, бидејќи остваруваат директен физички контакт со корисникот. Нивниот дизајн не влијае само на удобноста, туку и на начинот на кој луѓето го окупираат и доживуваат просторот.

4.5.1. Корисничка диверзификација и избор

Според Main & Hannah (2010), клучот за успешен урбан простор е обезбедувањето „избор“. Седењето мора да одговори на потребите на различните социјални групи:

- **Постари лица и лица со попреченост:** Бараат седишта со потпирачи за грб и раце за полесно станување и стабилност.
- **Групи и социјална интеракција:** Потреба од конфигурации каде корисниците се свртени еден кон друг (vis-à-vis).
- **Индивидуални корисници:** Претпочитаат седење што нуди чувство на приватност или поглед кон динамичните делови на просторот.

4.5.2. Технички детерминанти на дизајнот

При дизајнирање на седиштата, мора да се земат предвид неколку технички фактори кои влијаат на долготрајноста и безбедноста:

- **Одводнување и термичка контрола:** Изложеност на климатски влијанија налага користење на перфорации или празнини (отвори). Се препорачува растојанието помеѓу елементите да не надминува 2 cm за да не се наруши ергономската удобност, но да се овозможи одвод на вода и вентилација (Main & Hannah, 2010).
- **Материјализација и безбедност:** Металите имаат висока термичка спроводливост и брзо се загреваат на сонце. Затоа, кај седишта изложени на директно сонце, се претпочита комбинација со дрво или светли бои кои ја рефлектираат топлината.
- **Одржување и хигиена:** Мазните површини (пластифициран метал) овозможуваат природно чистење преку атмосферски влијанија (дожд), додека текстурираните материјали (бетон, груб камен) бараат рачно одржување поради таложење на нечистотија.

4.5.3. Типологија на седишта

Изборот на типот на седиште зависи од предвиденото времетраење на престојот и карактерот на локацијата.

Табела 4.3 Типологија на урбани седишта и нивна примена

Тип на седиште	Карактеристики	Примена (Локација)
Клупи со потпирач	Максимална удобност, поддршка за грбот.	Паркови, рекреативни зони, болници.
Клупи без потпирач	Овозможуваат седење од двете страни, помалку интрузивни.	Транзитни зони, плоштади, станици.
Модуларни системи	Флексибилност, можност за формирање на различни облици.	Големи јавни платоа, комерцијални центри.
Подвижни столици	Највисоко ниво на корисничка контрола (концепт на W. Whyte).	Инклузивни плоштади, внатрешни дворови.
Сидови за седење	Двојна функција: разграничување и седење.	Урбани патеки, амфитеатри, скапила.



Слика 4.4 Класична „Клупа од Копенхаген“ (Københavnerbænk), со конструкција од леано железо и ламели од тропско тврдо дрво, која претставува стандард за ергономски и социјален комфор во јавните простори. Извор: Wolff Nordic. (2025.). „Københavnerbænk“. Преземено од <https://wolffnordic.dk/en/products/kobenhavnerbaenk>

Како најеминентен пример на традиционален урбан дизајн, на Слика 4.4 е прикажана „Клупата од Копенхаген“, која се смета за архетип на ергономски комфор според парадигмата на Јан Гел. Нејзината конструкција, изведена од робусно леано железо со висок степен на декоративност, ја обезбедува неопходната структурна стабилност и издржливост на вандализам. Наклонот на седиштето и заобленоста на потпирачот за грб, изработени од масивни ламели од тврдо дрво, овозможуваат идеална ергономска потпора која го максимизира термичкиот комфор и ги поттикнува граѓаните на подолг престој и социјализација, дефинирајќи го со тоа и стандардот кон кој се стреми ова истражување.

4.6. Корпа за отпадоци

Корпите за отпадоци се суштински компоненти на урбаните простори кои играат клучна улога во одржувањето на чистотата и промовирањето на поодржлива животна

средина. Нивната цел е да обезбедат атрактивен и безбеден начин за собирање на отпадот во близина на изворот, со што се намалува ризикот од болести и штетници. При изборот на дизајнот, клучни фактори се локацијата, димензиите прилагодени на сообраќајот, како и пристапноста за лица со посебни потреби преку ниско поставени отвори.

Тие се класифицираат на:

- **Според локацијата:** Улични корпи (за пешаци), парковски корпи (со поголем волумен) и комерцијални корпи.
- **Според наменета:** Еднонаменски (за мешан отпад) и повеќенаменски (со прегради за рециклирање).
- **Според монтажата:** Фиксни (анкерирани во подлогата), мобилни или сидно монтирани.

Платформата за управување со отпад во современиот дизајн служи како показател за еколошката свест на едно општество. Интеграцијата на системи за селекција на отпадот не влијае само врз животната средина, туку делува и како едукативна алатка, трансформирајќи го чинот на фрлање отпадоци во свесен социјален чин каде естетиката не ја жртвува функционалноста или отпорноста на вандализам.



Слика 4.5 Модуларна корпа за селекција на отпад од серијата на *Vestre*, која користи *јасни пиктограми и ергономски отвори за олеснување на процесот на рециклирање во урбани средини*. Извор: *Vestre*. (н.д.). „Урбана опрема за управување со отпад“. Преземено од <https://vestre.com>

На Слика 4.5 е прикажан современ систем за управување со отпад, кој се карактеризира со чиста геометрирска форма и нагласена модуларност. Дизајнот е фокусиран на интуитивноста, каде што секоја страна на триаголната основа е наменета за различен тип на отпад, означен со универзални пиктограми. Ваквиот пристап е директно поврзан со теоријата на Јан Гел (Слика 4.1), бидејќи високиот квалитет на завршната обработка и прецизноста на деталите ја подигнуваат вредноста на јавниот простор. Дополнително,

употребата на робусни материјали со висок степен на рециклираност во производната филозофија на *Vestre* е во согласност со целите на оваа дисертација за имплементација на кружна економија преку одржлив урбан дизајн.

4.7. Транзитни постојки (засолништа)

Транзитните засолништа се карактеристични елементи на уличниот пејзаж кои привлекуваат корисници преку зголемување на удобноста на јавниот превоз. Овие структури се значајни бидејќи често се наоѓаат на фреквентни локации, нудат заштита од временски непогоди, осветлување и информации во реално време (RTI). Дизајнот најчесто вклучува калено стакло за да се овозможи максимална видливост и безбедност за патниците и возачите.

Современите постојки се рedefинирани како урбани „микро-простори“ кои го подобруваат перцепцијата за безбедност преку „пасивна вигилантност“. Во контекст на паметните градови (Smart Cities), тие стануваат дигитални јазли каде патниците комуницираат со урбаната мрежа, нудејќи повеќе од само засолниште – тие нудат поврзаност и социјална интеракција.

Како релевантен пример од домашната пракса за модернизација на урбаната инфраструктура, на Слика 4.6 е прикажана паметна автобуска постојка во Велес, која претставува обид за технолошка активација на јавниот простор преку интеграција на мултимедијални LED дисплеи за информирање на граѓаните (Општина Велес, 2021). Од архитектонски аспект, објектот се одликува со строга геометриска форма и конструкција од пластифицирани метални профили комбинирани со стаклени површини, што обезбедува визуелна транспарентност и заштита од атмосферски влијанија.



Слика 4.6 Приказ на новопоставена паметна (smart) автобуска постојка во Велес, опремена со дигитални информативни LED дисплеи и современа метална конструкција. Извор: Општина Велес (2021). „Нови автобуски постојки во Велес“. Преземено од <https://veles.gov.mk/novi-avtobuski-posto-ki-vo-veles/>

4.8. Лавици (држачи) за велосипеди

Носачите за велосипеди се основна инфраструктура за промовирање на алтернативниот транспорт, што директно влијае на намалување на сообраќајниот метеж и загадувањето. Најчестите типови вклучуваат „U“ полици, вертикални и хоризонтални решетки, чиј избор зависи од достапниот простор и климатските услови. Обезбедувањето висококвалитетни носачи ја поттикнува локалната економија преку привлекување на поголем број посетители во велосипедските зони.

Имплементацијата на држачи за велосипеди претставува јасна урбанистичка изјава во корист на микро-мобилноста. Оваа инфраструктура е катализатор за премин од фосилни горива кон активен транспорт, директно влијаејќи врз намалувањето на јаглеродниот отпечаток и бучавата во градот, притоа балансирајќи ја безбедноста на имотот со леснотијата на користење.

4.9. Урбано осветлување

Соодветното осветлување е од суштинско значење за безбедноста, навигацијата и естетското нагласување на архитектурата. Правилното поставување на светлосни столбови и употребата на LED технологија помага во контрола на светлосното загадување и ги намалува оперативните трошоци преку паметни системи за енергетска ефикасност.

Урбаното осветлување е критичен елемент кој се класифицира според висината и опсегот на дејство:

- **Улично осветлување:** Високи столбови наменети за моторен сообраќај.
- **Амбиентално/Пешачко осветлување:** Ниски столбови (bollards) кои ги дефинираат пешачките патеки.
- **Архитектонско осветлување:** Рефлектори за нагласување на фасади и споменици.

4.10. Одржливост во урбаниот дизајн и урбаниот мебел

4.10.1. Концептуална рамка и системски пристап

Одржливоста во современиот дизајн не претставува само еколошка преференција, туку систематска интеграција на еколошката одговорност, социјалната правичност и економската одржливост низ целата вертикала на планирање и производство. Овој концепт, дефиниран како „тројна основа на одржливост“ (triple bottom line), наметнува дека дизајнот на урбаната опрема мора да продуцира естетска вредност која е во синергија со долгорочното здравје на екосистемите и заедниците.

Во рамките на изградената средина, одржливоста се манифестира како меѓузависен систем каде материјалните и енергетските текови се поврзани со социјалното искуство на граѓаните.

4.10.2. Димензии на тројната основа во контекст на урбаниот мебел

Интеграцијата на трите столба во ова истражување се дефинира на следниот начин:

- **Еколошка одржливост:** Се фокусира на минимизирање на еколошкиот отпечаток преку избор на материјали кои овозможуваат рециклирање и долготрајност. Пристапот на **Проценка на животниот циклус (LCA)** овозможува евалуација на влијанијата од фазата на екстракција на сировини до крајниот третман на производот.

- **Економска одржливост:** Подразбира рационализација на јавните ресурси преку **модуларен дизајн** и заменливи компоненти. Овој пристап ја зголемува економската ефикасност преку намалување на трошоците за долгорочно одржување и поправка, со што се оптимизираат општинските инвестиции.

- **Социјална одржливост:** Оваа димензија го мери квалитетот на социјалната интеракција и инклузивноста. Урбаната опрема мора да биде ергономска и пристапна за ранливите групи (деца, постари лица, лица со попреченост), поттикнувајќи социјална кохезија и чувство на припадност во јавниот простор.

Дијаграмот во слика 4.7 ја претставува концептуалната рамка на одржливоста преку интеграција на трите основни столба: Екологија, Економија и Општество. За разлика од генеричките модели, овој дијаграм е специфично прилагоден за урбаниот дизајн и архитектурата:

- **Екологија (Еколошки столб):** Ги опфаќа принципите на биоклиматскиот дизајн и користењето на обновливи извори на енергија.

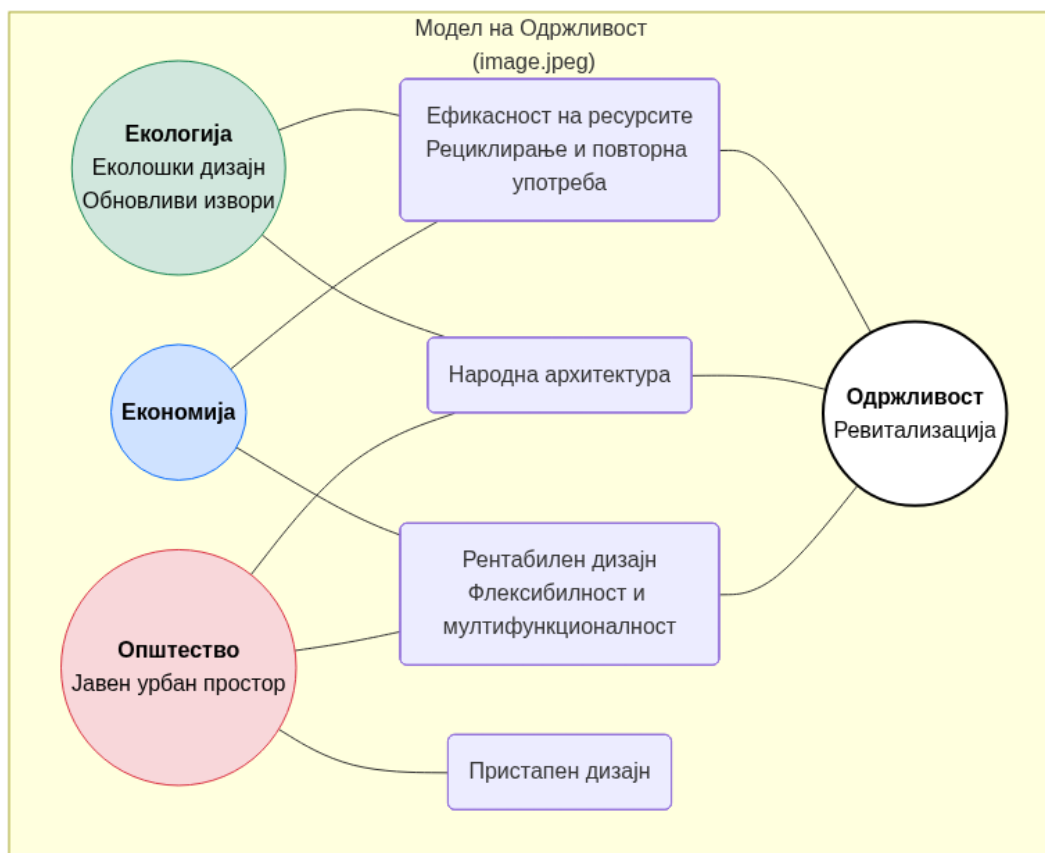
- **Економија (Економски столб):** Се фокусира на ефикасноста на ресурсите и рентабилноста на дизајнот, промовирајќи флексибилност и мултифункционалност на елементите.

- **Општество (Социјален столб):** Го третира јавниот простор како инклузивна средина преку пристапен дизајн кој ги задоволува потребите на сите кориснички групи.

Клучната точка на овој дијаграм е центарот — Одржливост и Ревитализација. Ова сугерира дека вистинската урбана ревитализација се постигнува само кога интервенцијата е истовремено еколошки одговорна, социјално праведна и економски оправдана. Пресеците како „Народна архитектура“ (Екологија+Општество) и „Рециклирање“ (Екологија+Економија) ја нагласуваат важноста на користењето локални ресурси и кружната економија.

4.10.3. Нормативни насоки и Кружна економија

Како референтна точка за одржлив развој се користат Целите за одржлив развој на ОН (SDGs), со посебен фокус на Целта 11: Одржливи градови и заедници (UN, 2020). Истовремено, парадигмата на Кружната економија (Ellen MacArthur Foundation, 2013), поттикнува транзиција од линеарниот модел „земи–направи–отфрли“ кон регенеративни системи на повторна употреба и рециклирање, што е суштинско за развојот на новите предлог-решенија во Тетово.



Слика 4.7 Дијаграм на меѓузависност на еколошките, економските и социјалните фактори во процесот на урбана ревитализација и одржлив дизајн

4.10.4. Одржлива урбана опрема: Концепти и стратегии

Одржливиот дизајн на урбаната опрема претставува интегративен пристап кој ја балансира еколошката одговорност, социјалната благосостојба и економската долговечност низ целиот животен циклус на производот. Бидејќи урбаниот мебел е примарен интерфејс меѓу граѓаните и јавниот простор, неговата одржливост не е само техничка, туку и социокултурна димензија која го обликува колективниот идентитет.

Еколошкиот притисок од овој сектор е значителен, при што мебелот сочинува околу 5% од вкупниот општински отпад во ЕУ, најчесто поради употребата на тешко-рециклирачки композитни материјали. Затоа, преминот кон циркуларни модели на поправливост и долговечност е императив за современите градови.

А. Клучни фактори за постигнување одржливост

Според истражувањата на Allameh & Heidari (2018) и Yang (2005), одржливоста на урбаниот мебел се дефинира преку неколку основни столба:

1. **Мултифункционалност и системска интеграција:**
 - Дизајнот треба да обединува повеќе функции (пр. седење, паркинг за велосипеди и корпа за отпад) за да се намали урбаниот неред и потрошувачката на материјали.
 - Употребата на модуларни компоненти овозможува лесна замена на оштетените делови без потреба од редизајн на целиот систем.
2. **Флексибилност и адаптабилност:**
 - Опремата мора да биде дизајнирана да одговори на променливите потреби на просторот (пр. „рор-уп“ мебел кој може да се трансформира од клупа во сцена).
 - Отпорноста на климатски промени и сурови временски услови е клучна за долговечноста на производот.
3. **Еколошка заштита преку принципот „3Rs“ (Reduce, Recycle, Reuse):**
 - **Избор на материјали:** Користење на рециклирани и трајни сировини со низок еколошки отпечаток.
 - **Енергетска независност:** Интеграција на фотоволтаични системи во осветлувањето и информативните табли за намалување на емисиите на .
 - **Оптимизирано одржување:** Избор на методи за инсталација кои бараат минимални ресурси за чистење и поправка.



Слика 4.8 Синтетизиран модел на меѓузависност помеѓу функционалните, еколошките и социјалните параметри во процесот на дизајнирање одржлив урбан мебел.

Овој синтетизиран дијаграм (слика 4.8) го илустрира холистичкиот пристап кон дизајнирањето на одржлива урбана опрема, каде што трите столба на одржливост се преведени во директни дизајнерски стратегии. Системот е организиран на следниов начин:

- **Функција (Економски столб):** Се фокусира на практичната вредност и долготрајноста на опремата преку мултифункционалност и модуларен дизајн. Ова овозможува еден елемент да задоволи повеќе потреби (на пр. седење и паркирање велосипеди), со што се намалуваат трошоците за материјали и одржување.

- **Екологија (Еколошки столб):** Ги имплементира принципите на „3Rs“ (намалување, повторна употреба, рециклирање) и искористување на природните ресурси. Овој сегмент ја нагласува употребата на рециклирани материјали и обновлива енергија (како соларно LED осветлување) за да се минимизира еколошкиот отпечаток.
- **Општество (Социјален столб):** Цели кон подобрување на квалитетот на животот преку инклузивен дизајн кој поттикнува социјална интеракција и поздравни навики на живеење.

4.10.5. Анализа на столбовите на одржливост при избор на материјали

Дефиницијата за одржливи материјали според Calkins (2009) не се ограничува само на нивното еколошко потекло, туку се протега низ три клучни димензии прикажани во табелите 4.4, 4.5 и 4.6. Овие карактеристики го дефинираат „идеалниот“ модел кон кој треба да стреми дизајнот на урбаниот мебел.

1. Еколошки аспекти (Табела 4.4)

Овој сегмент се фокусира на метаболизмот на материјалите во природата. Идеалниот одржлив материјал треба да има:

- **Минимален отпечаток:** Намалување на емисиите на стакленички гасови и зачувување на фосилните горива при неговата екстракција.
- **Ниска вградена енергија:** Квантитативно мерење на енергијата потребна за трансформација на сировината во финален производ.
- **Био-компатибилност:** Избор на материјали кои не испуштаат токсини (како ниско-VOC премази) и се лесни за рециклирање или компостирање.

2. Социјални аспекти (Табела 4.5)

Материјалите не се само физички структури, туку и медиум за социјална интеракција:

- **Здравје и безбедност:** Материјалите не смеат да претставуваат ризик за корисниците (пр. прекумерно загревање на метални површини или токсични испарувања).
- **Инклузивност и ергономија:** Тексурата и својствата на материјалот (топлина на дрвото наспроти ладноста на каменот) директно влијаат врз удобноста и пристапноста за сите групи граѓани.
- **Едукативна улога:** Видливото користење на рециклирани материјали ја подигнува еколошката свест и создава чувство на граѓанска гордост.

3. Економски аспекти (Табела 4.6)

Економската одржливост обезбедува долгорочна одржливост на проектот:

- **Целокупен трошок на сопственост:** Наместо само почетната цена, фокусот е на издржливоста и ниските трошоци за одржување во текот на годините.

- **Локална економија:** Давање предност на локални добавувачи (пр. локално дрво или камен) со што се намалуваат транспортните трошоци и емисиите, а се поддржува регионалниот развој.
- **Циркуларна вредност:** Дизајнирање на мебелот за лесно расклопување (DfD), со што материјалите ја задржуваат својата пазарна вредност дури и по крајот на нивниот работен век.

Интеграцијата на овие три табели овозможува холистичка процена. Дизајнерот не избира материјал само затоа што е евтин (економија) или само затоа што е рециклиран (екологија), туку бара точка на пресек каде материјалот е издржлив, безбеден за луѓето и нежен за планетата. Оваа синергија е клучна за постигнување на вистинска одржливост во урбаната средина.

Табела 4.4 Карактеристики на идеална одржливост – Еколошки аспекти



Табела 4.5 Карактеристики на идеална одржливост – Социјални аспекти



Табела 4.6 Карактеристики на идеална одржливост – Економски аспекти



4.10.6. Социо-културен придонес кон одржливото однесување

Покрај техничките карактеристики, одржливиот урбан мебел дејствува како едукативен инструмент кој промовира позитивни промени во однесувањето на граѓаните:

- **Промоција на активна мобилност:** Квалитетните држачи за велосипеди и постојки за јавен превоз ја намалуваат зависноста од автомобили.
- **Санитарна свест:** Соодветно позиционираните контејнери за селекција на отпад го поттикнуваат рециклирањето и ја подобруваат урбаната естетика.
- **Психолошка благосостојба:** Удобниот мебел во парковите ги охрабрува луѓето да поминуваат време на отворено, што директно влијае врз менталното здравје и социјалната кохезија.

4.11. Анализа на материјали и влијанието врз животната средина

Изборот на материјали е критична точка во одржливиот дизајн, бидејќи интеракцијата со околината се одвива двонасочно: преку црпење на природните ресурси и преку емитување на отпад и штетни гасови назад во екосистемот.

4.11.1. Еколошки прашања и Процена на животен циклус (LCA)

Одржливите материјали се дефинираат како сировини кои ја минимизираат употребата на ресурси, имаат ниско еколошко влијание и не претставуваат ризик по здравјето на луѓето. Проблемите поврзани со производството на материјали вклучуваат:

- **Глобални климатски промени:** Емисии на стакленички гасови од потрошувачка на енергија и индустриски процеси (пр. производство на цемент и челик).
- **Исцрпување на ресурси:** Експлоатација на фосилни горива и минерали, што води до деградација на екосистемот на изворните локации.
- **Токсичност:** Ослободување на опасни емисии во воздухот и загадувачи на водата за време на обработката на металите и производството на ПВЦ.

Алатките за Процена на животен циклус (LCA) овозможуваат квантитативно мерење на овие влијанија од екстракција до крајот на животот на производот. Клучен фактор тука е отелотворената енергија — вкупната енергија потрошена во сите фази: рударство, примарна обработка, производство, доработка и транспорт.

4.11.2. Иновативни и рециклирани материјали

Современиот пристап во дизајнот на урбана опрема се потпира на замена на примарните ресурси со поодржливи алтернативи:

- **Рециклирани метали:** Употреба на рециклиран алуминиум и нерѓосувачки челик со висок процент на отпадно железо.
- **Дрво:** Се смета за еден од најодржливите материјали кога потекнува од FSC-сертифицирани шуми. Термички модифицираното или ламинираното дрво ја зголеμουва издржливоста без токсични хемикалии.

- **Биокомпозити:** Иновативни материјали од природни влакна (лен, коноп) и биоразградливи смоли кои можат да бидат структурно цврсти, но и компостабилни.
- **Еколошки премази:** Употреба на водено-базирани бои и природни масла со ниски испарливи органски соединенија (VOCs) кои не ја нарушуваат еколошката рамнотежа.

4.11.3. Критериуми за избор според контекстот

Според Bill M. (2010) и Site Furnishing, изборот не зависи само од екологијата, туку и од специфичниот контекст:

Табела 4.7 Синтеза на клучни еколошки и функционални параметри при изборот на материјали за одржлива урбана опрема (Bill M., 2010)

Фактор	Опис и влијание
Надворешна средина	Отпорност на УВ-зрачење, влага, дожд, снег и температурни промени.
Јавен простор	Издржливост на интензивна употреба, вандализам и графити.
Функционалност	Ергономија, удобност, цврстина и тежина на елементите.
Естетика	Вклопување во архитектонскиот контекст и визуелна кохерентност.
Економска вредност	Долгорочна инвестиција преку лесно и евтино одржување.

4.11.4. Стратегии за долговечност и циркуларност

За да се обезбеди одржливост по инсталацијата, дизајнот мора да вклучува:

1. **Дизајн за расклопување (DfD):** Користење механички споеви наместо лепила, што овозможува лесна поправка и рециклирање на крајот од векот.
2. **Модуларност:** Флексибилни системи каде сегментите можат да се реконфигурираат или заменат поединечно.
3. **Паметни технологии:** Интеграција на соларни панели и сензори за оптимизирање на потрошувачката на енергија и следење на потребите за одржување.
4. **Циркуларни модели:** Системи за поврат на производите и ремануфактура, каде производителот го задржува сопствеништвото и го реновира мебелот наместо тој да биде исфрлен.



Слика 4.9 Холистички модел на материјалниот циклус во урбаната опрема: Од еколошка екстракција и LCA процена до паметна интеграција и циркуларно управување.

4.11.5. Компаративна анализа на материјалите и нивната одржливост

Изборот на материјали за урбана опрема претставува комплексен процес кој бара рамнотежа помеѓу техничките перформанси, економската исплатливост и еколошката одговорност. Како што истакнува Calkins (2009), материјалите не се само физички градежни блокови, туку се клучни носители на вредноста на животниот циклус (LCA) на еден производ.

Оваа секција ги деталзира карактеристиките на најчесто користените материјали, правејќи јасна дистинкција помеѓу традиционалните сировини и нивните современи еколошки алтернативи. Преку оваа компарација се дефинираат капацитетите на секој материјал за интеграција во кружната економија преку „Дизајн за расклопување“ (DfD) и повторна употреба.

Табела 4.8 Сеопфатна анализа на материјали за урбана опрема и нивните карактеристики

Категорија	Под-тип на материјал	Предности	Недостатоци	Рециклирање	Референца (In-text)
ДРВО	FSC-сертифицирано дрво	Складира \$CO_2\$, ниска вградена енергија.	Бара одржување, осетливо на влага.	100% биоразградливо.	(Calkins, 2009; Bill M, 2010)
	Термички модифицирано (TMT)	Висока отпорност на гниење без хемикалии.	Зголемена кршливост.	Погодно за компостирање.	(Hill, 2006; Pei et al., 2024)
МЕТАЛ	Нерѓосувачки челик (Inox)	Максимална отпорност на корозија.	Висока почетна цена и енергија.	100% рециклирање.	(Peck, 2014; Bill M, 2010)
	Рециклиран Алуминиум	Лесен, користи 95% помалку енергија при рециклирање.	Помала структурна цврстина.	Бесконечно рециклирање.	(Ashby, 2012; Yüksel, 2016)
БЕТОН	Традиционален бетон	Екстремна стабилност и ниска цена.	Високи емисии на CO ₂	Се дроба за агрегат.	(Meyer, 2009; Site Furnishing)
	Еко-бетон	Намален јаглероден отпечаток.	Варијации во текстурата.	Целосно се реинтегрира.	(Meyer, 2009; Bateman, 2022)
ПОЛИМЕРИ	Рециклиран HDPE пластика	Отпорен на влага и графити.	Термичка експанзија.	Директен производ на рециклирање.	(Ashby, 2012; Guerin, 2021)
	WPC (Композит)	Изглед на дрво со издржливост на пластика.	Тешка сепарација на материјалите.	Енергетско искористување.	(Klyosov, 2007; Suárez, 2024)

Презентираната табела 4.8 служи како клучна алатка за синтеза на холистичкиот модел. Преку неа, дизајнерот може да идентификува дека материјали како рециклираниот алуминиум или еко-бетонот нудат оптимален сооднос помеѓу издржливоста и нискиот еколошки притисок. Оваа компарација потврдува дека одржливоста во урбаниот дизајн не зависи само од изборот на суровината, туку и од нејзиниот потенцијал за реинтеграција во производниот циклус на крајот од нејзиниот животен век.

4.11.6. Интеграција: Скали, системи и човечко искуство

Одржливоста мора да се сфати како интегриран континуум кој ги поврзува сите размери на дизајнот — од урбаната инфраструктура до индивидуалното корисничко однесување. Урбаниот мебел во овој контекст не е само функционален елемент, туку и симбол на еколошка етика.

- **Интервенции на човечка скала:** Кога мебелот е произведен со циркуларни материјали, тој станува физичка манифестација на одржливоста во секојдневниот живот.
- **Материјални текови:** Стратегиите за рециклирање на ниво на мебел можат да се скалираат кон ниво на квартал, овозможувајќи градовите да функционираат како затворени екосистеми.
- **Темпорална прилагодливост:** Модуларните и поправливи решенија го продолжуваат животниот век на објектите, правејќи ги дел од долгорочниот урбан идентитет.
- **Партиципативен дизајн:** Вклучувањето на граѓаните во дизајнот создава чувство на сопственост, каде одржливоста станува живеана реалност (Manzini, 2015).

4.12. Хуманистички и социјални аспекти

Урбаниот мебел треба да комуницира и да и помага на јавноста во интеракција со околината, особено во ера на глобализација каде што е важно да се зачува локалниот идентитет (Yang, Z., 2005).

- **Универзален дизајн:** Дизајнот мора да им служи на сите корисници (деца, стари лица, лица со попреченост) без бариери. Секое седиште или информативна ознака треба да биде лесно разбирливо и удобно за користење (Burton & Mitchell, 2006).
- **Инклузивност:** Примената на решенија како Брајово писмо, тактилни сигнали и обезбедување простор за корисници на инвалидски колички покрај стандардните клупи е клучна за социјална одржливост.

4.13. Идни трендови и предизвици

Истражувањата во дизајнот постојано се трансформираат преку технолошки и социјални иновации:

1. **Нови биоматеријали:** Истражувања на мицелиум и алги како алтернативи за традиционалните пластики и композити (Circle Economy, 2024).

2. **Параметарски дизајн:** Користење на алгоритми за оптимизација на материјалот и намалување на отпадот (Abdelrahman, 2023).
3. **Интегрирана проценка:** Комбинирање на LCA (Life Cycle Assessment) со социјални метрики за мерење на човечката благосостојба.
4. **Бариери:** И покрај напредокот, високите трошоци и недоследните регулативи остануваат главни пречки за масовно прифаќање на одржливите иновации.

4.14. Преглед на добри практики во дизајнот на урбан мебел

4.14.1. Одржлив урбан мебел со соларна енергија

Српската компанија „Strawberry Energy“ развива и произведува урбан мебел на соларна енергија за паметни и одржливи градови. Основниот производ на компанијата е „Smart Bench,, (паметна клупа) што обезбедува бесплатен Wi-Fi пристап, капацитети за полнење мобилни телефони и нуди разни други информативни услуги на јавни места (слика 2.10). Обидот да се измисли овој производ беше да се донесе промена во начинот на кој луѓето во градовите комуницираат и го користат урбаниот мебел и јавните простори.

Денес, паметните клупи се присутни во 65 градови низ светот. Секоја „Smart Bench,, нуди бесплатен Wi-Fi и 4 слота за полнење на уредот: 2 отвори за кабел и 2 одредени места за безжично полнење. Клупите се опремени и со сензори за податоци за животната средина како што се квалитетот на воздухот и движењето на луѓето. Најголемиот фактор што ги прави овие клупи да придонесат за одржливост е тоа што енергијата што се користи доаѓа од одржлив извор, сонцето. Сончевиот панел ја собира и складира сончевата енергија и ја користи за напојување на уредите и дава бесплатен Wi-Fi, целосно одржливо решение, напојувано исклучиво од зелена енергија.

Овој производ има потенцијал да го подобри секојдневниот живот на луѓето на одржлив начин. Компанијата наведува дека со развојот на ваквите инвестиции блиску сме до живеење во функционален паметен град каде толку многу работи се едноставно полесни и поеколошки.



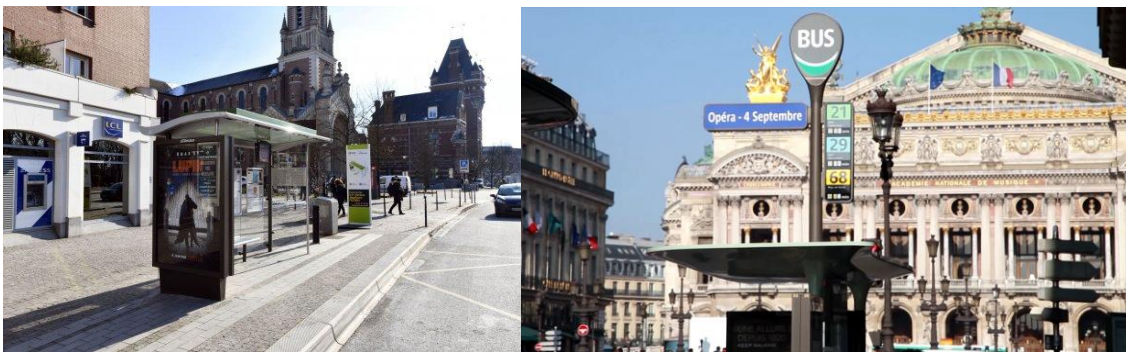
Слика 4.10 Smart Bench” клупа во Србија (Извор: <https://therecursive.com/made-in-serbia-how-solar-powered-urban-furniture-is-making-cities-more-sustainable/>)

4.14.2. Паметни автобуски засолништа – „Filtreo,,

Овој проект има за цел да донесе нови искуства при патувањето, а истовремено позитивно да влијае на животната средина со намалување на изложеноста на патниците на загадувачи на работ на тротоарот, каде што концентрациите се највисоки. Покривот на засолништето на автобусот е направен од мов што ги фаќа и апсорбира загадувачите и нговиот систем на вентилација испушта филтриран воздух кон патниците. Неговиот интелигентен систем за контрола ги активира вентилаторите според нивото на загадување. Овој систем, кој комбинира природен циклус со технолошки иновации, придонесува за подобрување на квалитетот на воздухот за патниците.

Првото засолниште за автобуси се наоѓа на станицата Мери во предградието на Лил и е дизајнирано од JCDecaux, компанија за надворешно рекламирање (Сл. 2.11). Овој проект придонесува за подобрување на искуството за патување преку развивање еколошки и самоодржлив урбан мебел. Дизајнот е модерен и еколошки, со елегантни, меки линии и покрив инспириран од лисјата на чинарите, кои се симболични за Француска престолнина, и обликувана како островите во реката Сена.

Засолништата за автобуси функционираат во согласност со принципите за одржлив развој и се усогласени со Климатскиот план на градот Париз. Тие трошат 35% помалку енергија од нивните претходници благодарение на употребата на поефикасни технологии за осветлување и интензитетот на светлина што одговара на активности за рекламирање и системи за осветлување. Покрај тоа, 100 засолништа за автобуси се опремени со соларни панели за да се намали потрошувачката на енергија, а 50 покриви имаат растителна покривка. Одржувањето на автобуските засолништа од страна на тимовите на JCDecaux не влегува во системот за вода за пиење, наместо тоа, тие користат обновена дождовница, од кои 17% се заробени со иновативен систем инсталиран на покривите на зградите. Покрај информациите за следните пристигнувања на автобуси, автобуските засолништа обезбедуваат мапи на градот и соседството, информации за сообраќајот во реално време и



Слика 4.11 Паметни автобуски постојки Filtreo во Парис. <https://www.jcdecoux.com/blog/multi-faceted-bus-shelters-paris>

USB-порти за полнење мобилни телефони. Интегриран е и систем за гласовно известување за лицата со оштетен вид. Седиштата се пошироки и пообилни, а покривите се поголеми за да обезбедат удобност за максималниот број на луѓе. Јарболите за сигнализација се дизајнирани да бидат видливи од далеку од пешаците, и дење и ноќе. Тие обезбедуваат низа информации, како што се името на застанувањето, бројот на линијата, насоката и времето на чекање.

Опремена со поврзани услуги, оваа нова структура означува трансформација на засолништата за автобуси во урбаниот пејзаж, со главен фокус на создавање нови јавни простори кои ги балансираат наследството и модерноста додека ја надополнуваат елеганцијата на градот.

„The Solar Tree,, (Сончевото дрво)

Наречен како прво е-дрво во Европа (сл. 2.12), овој мебел е засаден во францускиот град Невер за да се нагласи дигиталниот ангажман на градот. Конференцијата за климата COP21 во Париз ја оцени како највпечатлива иновација, а опремена е со соларни панели, обезбедува бесплатни услуги за урбаната заедница, како што се Wi-Fi, мобилни станици за полнење, фонтана со вода за пиење, осветлување на ноќе и корисни информации прикажани на интегриран екран.

Енергетскиот самоодржлив мебел вклучува интерактивен екран со низа можности за ширење информации, како што се градските настани, за доброто на граѓаните. Жителите исто така можат да комуницираат со екранот користејќи ги своите мобилни телефони.

Дрвото што може да го револуционизира уличниот мебел, не само што има за цел да им обезбеди на граѓаните основни услуги, како што се место за одмор или интернет конекција, туку исто така има за цел да се движи кон повеќе човечки градови и кон популации посвесни за животната средина кои, гледајќи и уживајќи во е-Tree, ќе ги вклучуваат концептите како што се одржливост, екологија и животната средина и во практиката.



Слика 4.12. Сончевото дрво во францускиот град Невер. <https://petraco.id/street-furniture-goes-sustainable-and-self-sufficient-with-jcdecaux/>

4.14.3. Одржлива пешачка патека – минимално влијание врз животната средина

Пешачката патека долга 400 метри на австралискиот Сончев брег (Sunshine Coast), е повторно отворена за јавноста откако беше подложена на суштинско реновирање. Сместена во Ноос (Noosa) а, реновираната патека нуди седење и LED осветлување со сензори за движење и тајмери, за да се максимизира искуството на пешаците и да се надополни статусот на биосферен резерват на УНЕСКО.

Сите патеки, седење и скали се изградени од Асоуа; водечки светски производ од дрво со високи перформанси кој нуди значителни еколошки придобивки. Неговата супериорна димензионална стабилност, издржливост и сигурност значи дека не е подложен на гниење, искривување, собирање или отекување. Тоа е лесен материјал кој може да ги издржи најтешките клими со минимални барања за одржување. Високиот термички прекин на Асоуа при директна сончева светлина и топла клима значи дека нема ризик од распарчување, што го прави материјал погоден за пешаците.

Архитектот Грант Калдер од Flexure кажува: „Нашиот примарен фокус за овој проект беше квалитетот; Сакавме да дизајнираме пешачка патека изградена да трае, која се криви меѓу дрвјата и нуди многу места за застанување, одмор и уживање во природниот амбиент и глетките. Производот комбинира издржливост во меко дрво кое е подобро од тврдото дрво со највисока издржливост и затоа е многу лесно да се изгради. Неговата 50-годишна гаранција нуди мир на умот и намалени барања за одржување. Дополнително на тоа, важна е и неговата одржливост - оваа патека ја прикажува животната средина и истовремено ја заштитува,,

Пешачката патека е дизајнирана според природниот амбиент. Овој дел од крајбрежјето е населен со коали и други домородни животни, и тоа е портата во Националниот парк. Асооа е исто така нетоксичен и 100% биоразградлив, што е клучно за заштита на околината на патеката.



Слика 4.13. Пешачката патека Сончев брег <https://www.accoya.com/project/noosa-boardwalk/>

4.15. Корисничко однесување и јавни потреби во урбаните средини

Разбирањето на корисничкото однесување и јавните потреби претставува суштински аспект на дизајнот на одржлив урбан мебел. Јавните простори функционираат како социјални екосистеми во кои се вкрстуваат човечките активности, културните вредности и еколошките динамики. Начинот на кој луѓето интеракционираат со овие простори — и со мебелот во нив — ја обликува и физичката форма, и социјалната функција на урбаната средина (Gehl, 2010).

Затоа, одржливиот дизајн на мебелот не се ограничува само на материјалната ефикасност; тој опфаќа како мебелот ја поддржува социјалната интеракција и благосостојбата. Урбаниот мебел делува како посредник — тој поканува, насочува, а понекогаш и ограничува однесување. Истражувањата покажуваат дека удобниот и естетски привлечен мебел ја зголемува фреквенцијата на користење на јавните простори (Whyte, 1980; Carmona et al., 2012).

Примената на принципите на универзален дизајн обезбедува мебел достапен за сите (Burton & Mitchell, 2006). На пример, седишта со различни висини ги задоволуваат различните физички способности, додека тактилните површини ја подобруваат пристапноста за лицата со оштетен вид. Психолошката димензија е исто така клучна; изборот на природни материјали (како FSC дрво) во споредба со ладни површини, директно влијае врз перцепцијата на удобност и безбедност (Nasar & Holleran, 2010).

4.16. Сумирање на клучните сознанија

Ова поглавје ја разгледа меѓусебната поврзаност помеѓу урбаната форма, еколошката одржливост и човечкото однесување. Од анализата произлегуваат следниве клучни согледувања:

1. **Интеграција на еколошките и социјалните цели:** Одржливиот мебел мора да воспостави рамнотежа помеѓу техничките перформанси (ниска вградена енергија, рециклирање) и социјалниот комфор (Bill, 2010; Calkins, 2009).
2. **Дизајн ориентиран кон човекот:** Разбирањето на културните модели овозможува креирање мебел што го поттикнува граѓанското учество (Gehl, 2010; Mehta, 2013).
3. **Материјална одговорност и циркуларност:** Неопходно е следење на целиот животен циклус на материјалите. Изборот на издржливи и нетоксични суровини е основа за намалување на еколошкиот одпечаток (Prasad & Snow, 2006).
4. **Флексибилност и модуларност:** Модуларните решенија овозможуваат просторите да се прилагодат на променливите потреби, со што се зголемува нивната функционална ефикасност (Allameh & Heidari, 2018).
5. **Одржување како критериум за одржливост:** Стратегиите за поправка и продолжување на животниот век се клучни за зачувување на ресурсите и естетскиот квалитет (Lagro, 2001).
6. **Социјална инклузија:** Инклузивниот дизајн гарантира дека јавните простори остануваат демократски и репрезентативни за разновидноста на заедницата (Burton & Mitchell, 2006).

5. УРБАН КОНТЕКСТ И АНАЛИЗА НА ТЕТОВО

5.1. Урбан контекст и анализа на Тетово

Општина Тетово е лоцирана во северозападниот дел на Република Северна Македонија, распоредена на падините на Шар Планина и во рамничарските предели на Полошката Котлина. Територијално, општината се протега во правец северозапад–југоисток. На север, северозапад и запад таа се граничи со општините Драгаш и Призрен во Република Косово; на исток и југоисток се граничи со македонските општини Теарце, Јегуновце и Желино, додека на југ се допира со општините Боговиње и Брвеница (Слика 5.1).

Тетово се наоѓа на просечна надморска височина од 824 метри и се одликува со умерена континентална клима, со средна годишна температура од 11,6°C (Државен завод за статистика [ДЗС], 2021). Вкупниот просторен капацитет на општината опфаќа разноврсна намена на земјиштето: 47.262 ha се категоризирани како земјоделско земјиште, 6.837 ha се под шумски појас, 7.047 ha претставуваат обработливи површини, 9.726 ha се пасишта, 2.197 ha се ливади, додека овошните насади зафаќаат 2.197 ha, а лозовите насади минимални 2 ha (Општина Тетово, 2022).



Слика 5.1. Лево: Позицијата на Општина Тетово во рамките на Република Северна Македонија. Десно: Сателитски и ортофото приказ на населено место во Општина Тетово.

Општината се простира на вкупна површина од 261,89 km² и според официјалните податоци од пописот во 2021 година, брои 84.770 жители (ДЗС, 2021). Во нејзиниот состав влегуваат вкупно 20 населени места, геоморфолошки поделени на 10 низински, 6 ридски и 4 типично планински населби.

Општина Тетово накратко (ДЗС, 2021):

84,770	Население
261.9 км ²	Површина
323.7/км ²	Густина на населеност
-0.11%	Годишна промена на населението (2002 → 2021)

Табела 5.1 Компаративен приказ на движењето на населението во Тетово во однос на државното ниво (1981–2021)

Територијална единица	Статус	Попис 1981	Попис 1994	Попис 2002	Попис 2021
Тетово	Општина	72.050	79.401	86.580	84.770
Северна Македонија	Република	1.909.136	1.945.932	2.022.547	1.836.713

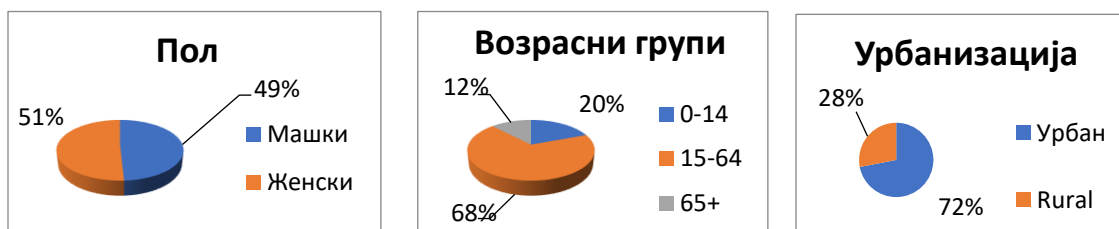
Извор: Државен завод за статистика на Република Северна Македонија (ДЗС, 2021)

Историските корени на Тетово како урбано јадро се тесно поврзани со православното словенско наследство, развивајќи се околу црквата „Света Богородица“ од 13 век, лоцирана во непосредна близина на изворот на реката Пена (Светозаревиќ, 1999). Овој сакрален објект го означува почетокот на етаблирањето на Тетово како значаен духовен центар и седиште на првата православна епископија во Полог. Првобитната рудиментирана населба, концентрирана околу црквата, постепено се ширела и го диверзифицирала своето просторно ткиво (Светозаревиќ, 1999).

Современата демографска структура на Тетово дава клучни согледувања кои директно ја наметнуваат потребата од стратешки и квалитетни инвестиции во јавните зелени простори и соодветниот урбан мебел. Анализата на населението покажува релативно рамномерна дистрибуција по пол, со суптилна предност на женската популација (ДЗС, 2021). Овој баланс ја нагласува важноста на дизајнирањето на инклузивна, безбедна и пристапна јавна инфраструктура, со посебен акцент на потребите на жените, децата и ранливите групи, кои често се занемарени во традиционалното урбанистичко планирање.

Возрасниот состав дополнително ги дефинира специфичните и хетерогени потреби на заедницата: околу 68% од вкупното население припаѓа на активното работоспособно население (од 15 до 64 години), додека младата популација (0–14 години) учествува со 20%, а повозрасните граѓани (над 65 години) сочинуваат 12% од населението (ДЗС, 2021). Оваа структура бара мултифункционални јавни простори кои можат да одговорат на потребите на различните животни фази — безбедни рекреативни зони и детски игралишта за најмладите, ергономски и засенчени зони за одмор на повозрасните, како и динамични социјални плоштади и зелени пешачки коридори за активната популација (Gehl, 2010).

Дополнително, со висок степен на урбанизација од околу 72% (население кое живее во градот), Тетово се соочува со огромен антропоген притисок врз постоечката инфраструктура (ДЗС, 2021). Ваквата урбана концентрација драстично ги нагласува негативните последици од систематското намалување на зелените површини и пешачките зони во изминатите децении.



Слика 5.2 Дистрибуција на населението во Тетово според пол, возрасна структура и урбано-рурална припадност, 2021 година. Извор: Државен завод за статистика на Република Северна Македонија

Во овој контекст, ревитализацијата на урбаното зеленило и правилната интеграција на урбаниот мебел не се само прашање на естетско обликување, туку се основен императив за заштита на јавното здравје и градење на еколошка отпорност на градот (World Health Organization [WHO], 2016).

Иако стратешката географска положба на Тетово во подножјето на Шар Планина и неговата поврзаност преку клучните сообраќајни коридори нудат одлични развојни можности, брзиот пораст на населението и интензивната градежна експанзија сериозно го претставува просторното планирање. Овој неконтролиран развој резултираше со узурпација на плодно земјоделско земјиште и изразен дефицит на јавни, рекреативни и социјални простори. Денес, градот се соочува со сериозни предизвици како постојан сообраќаен колапс, недостиг на пешачки патеки и некавалитетен урбан мебел, што значително го деградира квалитетот на секојдневниот живот во заедницата (Општина Тетово, 2022).

Уредувањето и трансформацијата на катастарските парцели во период од десет години (Слика 5.3) јасно илустрираат радикални просторни промени кои се одвивале на штета на јавните зелени површини (Општина Тетово, 2022). Овие податоци го потврдуваат трендот на неконтролирана урбана дисперзија кој ја загрозува одржливоста на градот.

Тетово, како значаен историски и културен центар во Северна Македонија, претрпел значајни трансформации низ времето. Иако неговото потекло може да се следи уште од антиката, подетални записи за неговата урбана структура се ограничени сè до 19 век. За да се разбере процесот на трансформација на градот, неопходно е да се анализираат принципите и практиките на урбанистичко планирање применувани во различни историски периоди.



Слика 5.3 Катастарски мапи на градот Тетово кои ги прикажуваат просторните промени помеѓу 2002 година (лево) и 2021 година (десно). Извор: Општина Тетово

Преку анализа на историски мапи, урбанистички планови и фотографии, може да се проследат промените во урбаното ткиво на Тетово, вклучувајќи ја уличната мрежа, конфигурацијата на блоковите и распределбата на објектите.

Урбаната генеза на Тетово и неговата трансформација низ времето можат да се поделат на три доминантни историски периоди кои ги дефинирале денешните просторни карактеристики на градот (Светозаревик-Покорни, 2001):

5.2. Хронолошки развој на урбаната структура на Тетово

5.2.1. Органската структура во периодот од XV до XIX век

Во текот на 14 век, за време на османлиското владеење, Тетово се наметнува како важен трговски, занаетчиски и административен центар во регионот. Неговата извонредна геостратешка положба на раскрсницата на важните каравански патишта кои ги поврзувале Призрен, Скопје и Дебар била клучен фактор за неговиот забрзан раст (Светозаревиќ-Покорни, 2001). Со доаѓањето на османлиските доселеници, градот го добива името Калканделен (Kalkandelen).

Новото муслиманско население главно се концентрирало во рамничарските и пониските делови на Полог, каде што се градат репрезентативни објекти на исламската архитектура, како што е Шарената џамија, изградена во 1459 година (*Tetovo i tetovsko niz istorijata*, 1982). Наспроти тоа, автохтоното словенско православно население главно го задржало своето живеалиште во повисоките зони, во самото подножје на Шар Планина (Светозаревиќ-Покорни, 2001).

Како типичен пример за град од Османлиската Империја, Тетово се развивал спонтано и органски, без однапред дефиниран регулациски план (Светозаревиќ-Покорни, 2001). Уличната мрежа била формирана согласно релјефот, карактеризирана со тесни, кривулести и неправилни сообраќајници кои ја рефлектираат постепената просторна експанзија. И покрај верската доминација на исламот, османлиските власти во одредени периоди покажувале релативна толеранција кон христијанските заедници, овозможувајќи им да го зачуваат својот социјален, културен и просторен идентитет (*Tetovo i tetovsko niz istorijata*, 1982).

Ова придонело за јасна диференцијација на градот на специфични христијански и муслимански маала (*mahallas*). Верските објекти (џамиите и црквите) служеле како основни урбани јадра околу кои се организирал секојдневниот живот и социјалните норми на заедницата (Светозаревиќ, 1999). Од друга страна, чаршијата (централниот пазар) претставувала посебна функционална зона и главен економски столб на градот каде што се одвивала целата трговска размена (*Tetovo i tetovsko niz istorijata*, 1982).

И покрај економскиот напредок во 19 век, развојот на Тетово бил периодично забавуван од катастрофални настани, како што бил големиот пожар во 17 век, како и демографскиот и економскиот пад за време на Првата светска војна во раниот 20 век (Светозаревиќ, 1999). Сепак, градот постојано успевал да го обнови својот статус на економски и административен центар во овој дел од Македонија (Светозаревиќ-Покорни, 2001).



Слика 5.4. Органска урбана структура на Тетово прикажана на историската катастарска карта од 1937 година (Извор: општина Тетово).

5.2.2. Социјалистичко-модерниот град – Југословенски период

Вистинскиот процес на техничка модернизација и планирање на Тетово започнува по завршувањето на Втората светска војна, во рамките на социјалистичка Југославија. Во овој период доаѓа до радикален пресврт во урбанистичката пракса преку имплементација на модернистичките принципи за планирање на градовите, кои вклучувале функционално зонирање, ортогонални улични мрежи и рационализација на просторот (Džamić, 2018).

Југословенскиот модернистички концепт вклучувал наметнување на правилна, мрежеста улична инфраструктура, уривање на значителен дел од традиционалното, органско градско ткиво и изградба на нови станбени комплекси со повисока катност (Džamić, 2018). Иако овие радикални хируршки интервенции во градското ткиво имале за цел да создадат пофункционален и помодерен социјалистички град, тие неретко резултирале со трајно деградирање на историски вредните објекти и губење на традиционалниот архитектонски идентитет на Тетово (Светозаревиќ, 1999). Најеклатантен пример за ова е парцијалното уривање на старата чаршија за да се отвори простор за широки сообраќајници и административни објекти.

Поствоениот период, а особено економскиот просперитет во 1970-тите години, донел интензивна миграција од руралните средини кон градот, со што драстично се зголемила побарувачката за станбен простор (ДЗС, 2021). Југословенските станбени политики се обиделе да го решат овој притисок преку изградба на колективни социјални станови под капа на локалните самоуправи и претпријатија (Džamić, 2018). Сепак, поради постојаниот дефицит на јавни станови, реформите од 1960-тите го стимулирале индивидуалното сопствеништво и изградбата на семејни куќи. Ова резултирало со

планирање на нови населби со индивидуално домување во рамките на строги урбанистички параметри за висина, габарит и естетска усогласеност, со цел да се спречи неконтролираното ширење на градот (Džamić, 2018).

Миграцијата од руралните кон урбаните подрачја во Тетово довела до значително зголемување на побарувачката за станбен простор. Југославија настојувала да одговори на оваа потреба преку обезбедување достапно домување за своите граѓани. Сепак, и покрај напорите за изградба на социјално домување, побарувачката постојано ја надминувала понудата.

Во 1950-тите години, одговорностите поврзани со домувањето биле децентрализирани, при што товарот се префрлил на локалните организации. Иако оваа мерка имала за цел зголемување на станбениот фонд, таа сепак не успеала целосно да одговори на растечките потреби. Економските реформи од 1960-тите години дополнително го децентрализирале системот на изградба и распределба на домување, охрабрувајќи индивидуално сопствеништво на домови. Ова резултирало со значително зголемување на градежната активност во Тетово, но истовремено го продлабочило проблемот со недостиг на станови за голем дел од населението.

Иако социјалното домување било важен сегмент од југословенската станбена политика, тоа не претставувало примарно решение за мнозинството жители. Напротив, најголем дел од населението живеело во приватно сопствени домови, често изградени индивидуално. Реформите од 1960-тите дополнително го насочиле фокусот кон индивидуално домување, што довело до развој на планирани населби со индивидуални семејни куќи во урбани подрачја како Тетово. Овие населби биле проектирани според однапред дефинирани насоки за висина на објектите, архитектонски стил и други параметри, со цел создавање кохерентна и контролирана урбана средина.

И покрај преминот кон индивидуално домување, ваквиот пристап донел и одредени предизвици, како зголемени трошоци за инфраструктура и ширење на градот (урбана дисперзија). Сепак, стремежот кон индивидуален избор и сопственост останал клучен двигател на развојот на овие станбени подрачја.



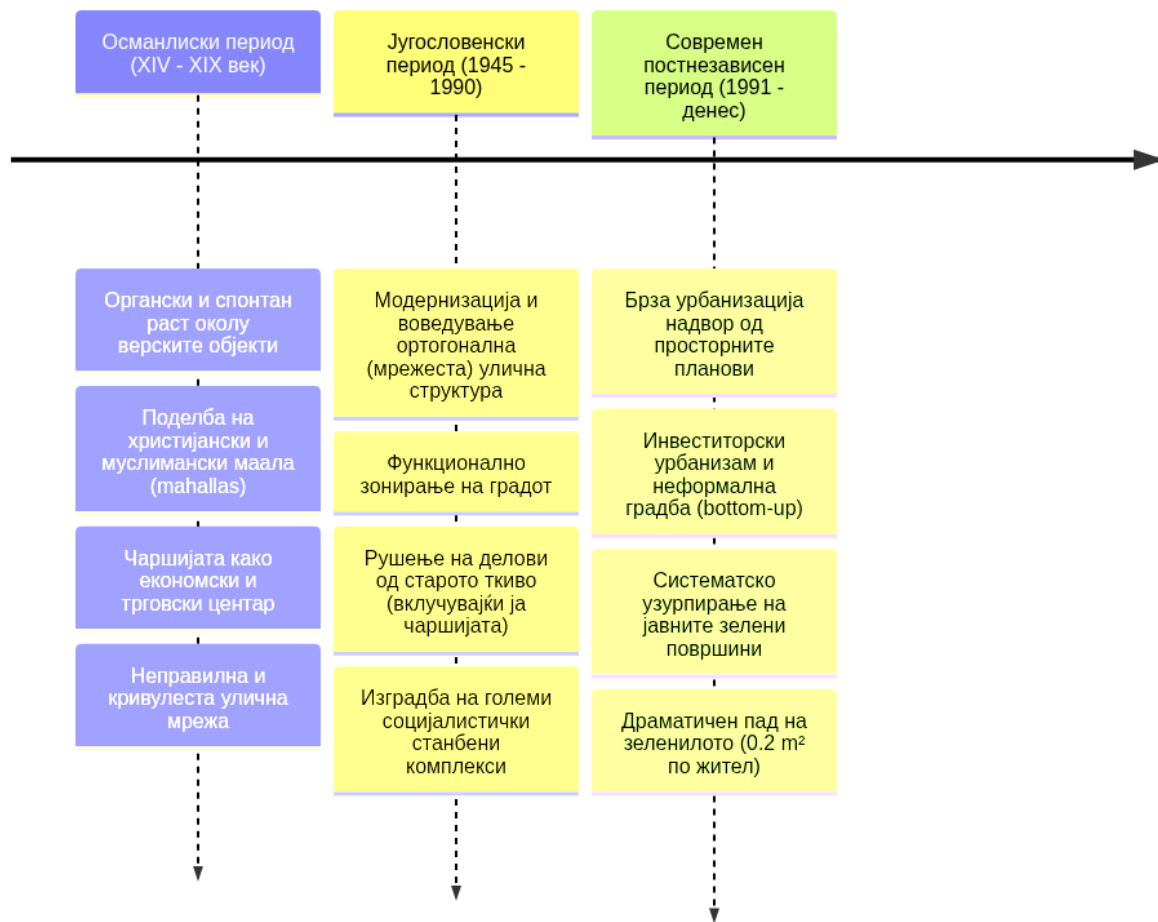
Слика 5.5 Планираната улична конфигурација и регулациските линии во деталните урбанистички планови на Тетово во периодот од 1960 до 1990 година. (Извор: Општина Тетово)

5.2.3. Урбаниот хаос – Современиот постнезависен град

Транзицискиот период по стекнувањето на независноста на државата кон крајот на 20 век донесе забавување на планираните инфраструктурни проекти и радикална промена во начинот на управување со просторот. Иако новите планови формално се повикуваа на демократски процедури, процесот на нивна имплементација во пракса се соочи со институционална слабост. Како резултат на тоа, растот на Тетово во изминатите децении во голема мера се одвиваше надвор од официјалните регулативи, поттикнат од неформално градење и брза приватизација на просторот. Генералниот урбанистички план (ГУП), усвоен во 2003 година, брзо се покажа како крут и неадаптивен инструмент пред силниот градежен притисок и инвеститорскиот урбанизам (Општина Тетово, 2022). Денес, просторната конфигурација на Тетово претставува чуден хибрид меѓу социјалистичкото геометриско

планирање и неконтролираниот развој од типот „оддолу-нагоре“ (*bottom-up*), каде спонтаните неформални населби станаа постојан дел од градскиот пејзаж. Иако градот прерасна во важен регионален универзитетски и економски центар, овој раст не беше соодветно проследен со соодветен развој на сообраќајната мрежа и јавните простори (Општина Тетово, 2022).

Хронолошки развој на урбаната структура на Тетово



Слика 5.6 Временска линија и хронолошки приказ на клучните етапи во урбаниот развој на градот Тетово (XV до XIX век, Југословенски период и Современ постнезависен период).

5.3. Анализа на јавните простори и предложени интервенции

5.3.1. Зелени површини и деградација на јавниот простор во Тетово

Иако во минатото Тетово било препознатливо по своите дрвореди, мали паркови и зелени меѓублоковски површини, денес градот се наоѓа во критична состојба во поглед на јавното зеленило. Неконтролираната градежна експанзија во последните децении резултираше со узурпација на зелените оази и нивна трансформација во изградена бетонска средина (Општина Тетово, 2022). Овој процес е директна последица на отсуството на интегрален, стручен и стратешки пристап кон просторното планирање, каде што примарна улога имаа приватните инвестициски интереси на сметка на јавниот интерес.

Голема улога во деградацијата на јавниот простор имаше и несоодветната примена на законските регулативи за денационализација и легализација на бесправно изградени објекти (Government of the Republic of North Macedonia, 2018). Овие процеси овозможува поранешни јавни површини (детски игралишта, спортски терени, паркинзи и парковско зеленило) да бидат денационализирани, приватизирани и на крајот претворени во градежни парцели со висок интензитет на изграденост, што дополнително ја оптовари и онака крвката комунална инфраструктура.

Овој сооднос директно влијае врз еколошката слика на градот. Прекумерното поплочување на јавните и приватните дворови со бекатон плочки го оневозможува природното понижување на атмосферските води, со што се преоптоварува атмосферската канализација за време на поројни дождови. Исто така, несоодветното позиционирање на високите објекти ги блокира природните воздушни струења во котлината, придонесувајќи за енормно загадување на воздухот и зголемување на средните температури преку ефектот на урбан топлински остров (Oke, 1987).

Од микро-урбанистичка перспектива, Тетово денес се соочува со сериозен проблем со физичкото пропаѓање на урбаниот мебел. Големите температурни амплитуди карактеристични за ова подрачје, во комбинација со употребата на евтини, неодржливи материјали (незаштитено меко дрво, пластика со низок квалитет и корозивен челик) и недостатокот на континуирано одржување, водат кон брза материјална деградација и вандализам на опремата во јавните простори (Gehl, 2010).

Статистичките показатели се поразителни. Иако урбаното јадро на Тетово брои над 60.000 жители, градот не исполнува ниту еден од критериумите утврдени со Законот за урбано зеленило (кој наложува минимум 1 хектар површина за јавен парк). Во моментот, Тетово располага со само 0,2 m² јавно зеленило по жител, што е далеку под стандардот од 9 m²/жител препорачан од Светската здравствена организација (WHO, 2016). Единствените преостанати неузурпирани зелени зони се паркот кај Железничката/Автобуската станица (0,85 ha) и паркот околу Шарената џамија (0,40 ha), но ниту еден од нив не ги задоволува современите естетски, функционални и еколошки стандарди за јавен парк.

Анализата на намена на земјиштето (Слика 5.8) го потврдува овој дисбаланс, покажувајќи апсолутна доминација на колективното и индивидуалното домување на сметка на социјалните, рекреативните и зелените зони (Општина Тетово, 2022).



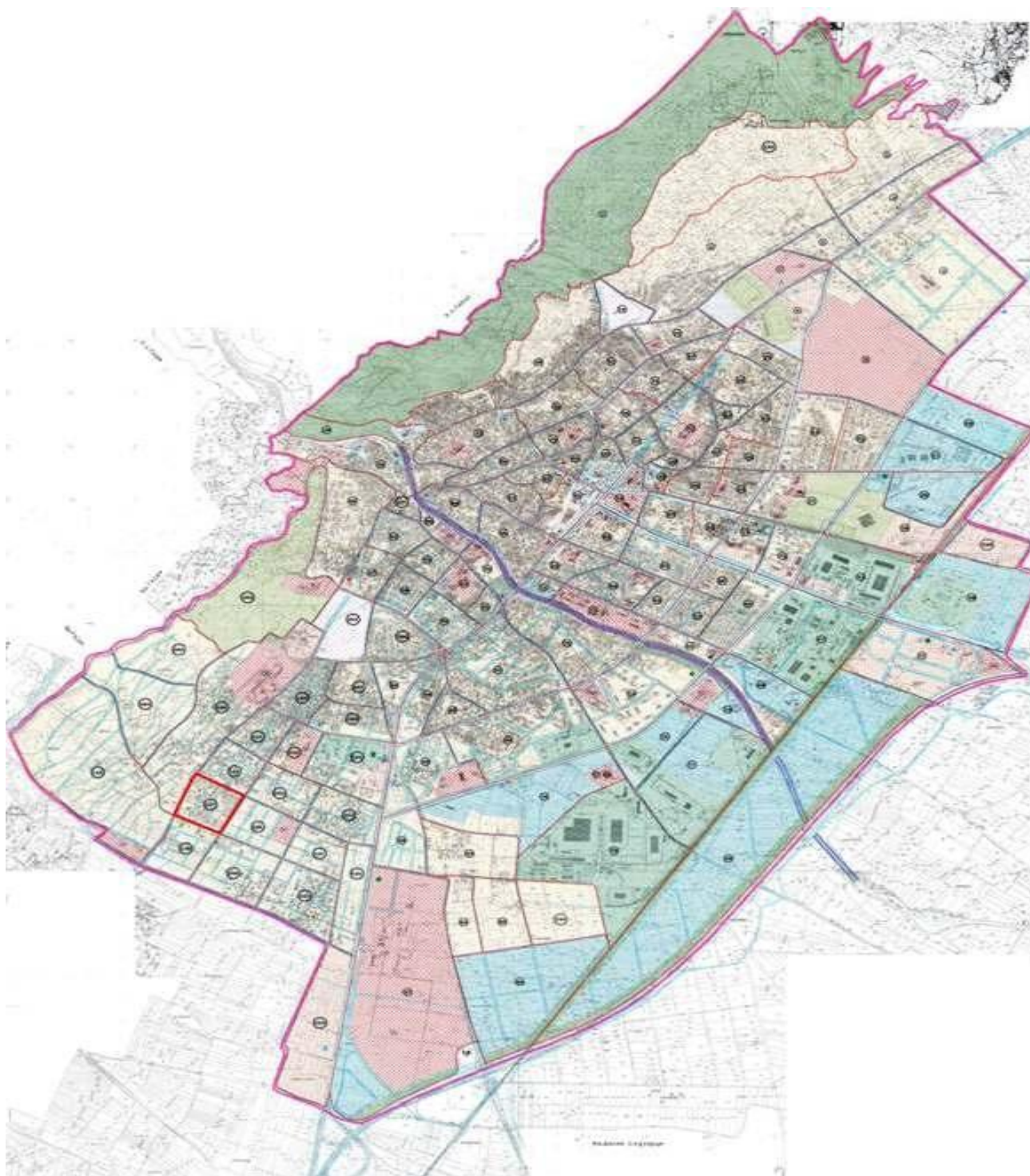
Слика 5.7 Концептуален просторен приказ на распределбата и дефицитот на јавните паркови на територијата на град Тетово.

Оваа мапа (слика 5.7) прикажува концептуален приказ на дистрибуцијата, големината и просторниот распоред на зелените површини во градот Тетово. Преку употреба на зелени кружни симболи (меурчиња) со различна големина, мапата визуелно го илустрира присуството и капацитетот на градското зеленило во различните зони на градот. Големината на зелените кругови е пропорционална со површината на соодветната зелена зона. Поголемите кругови (како оние во источниот дел, во близина на излезот кон Palma Mall и во северниот дел) укажуваат на поголеми парковски или рекреативни површини, додека помалите кругови претставуваат локални, маалски паркови или скверови.

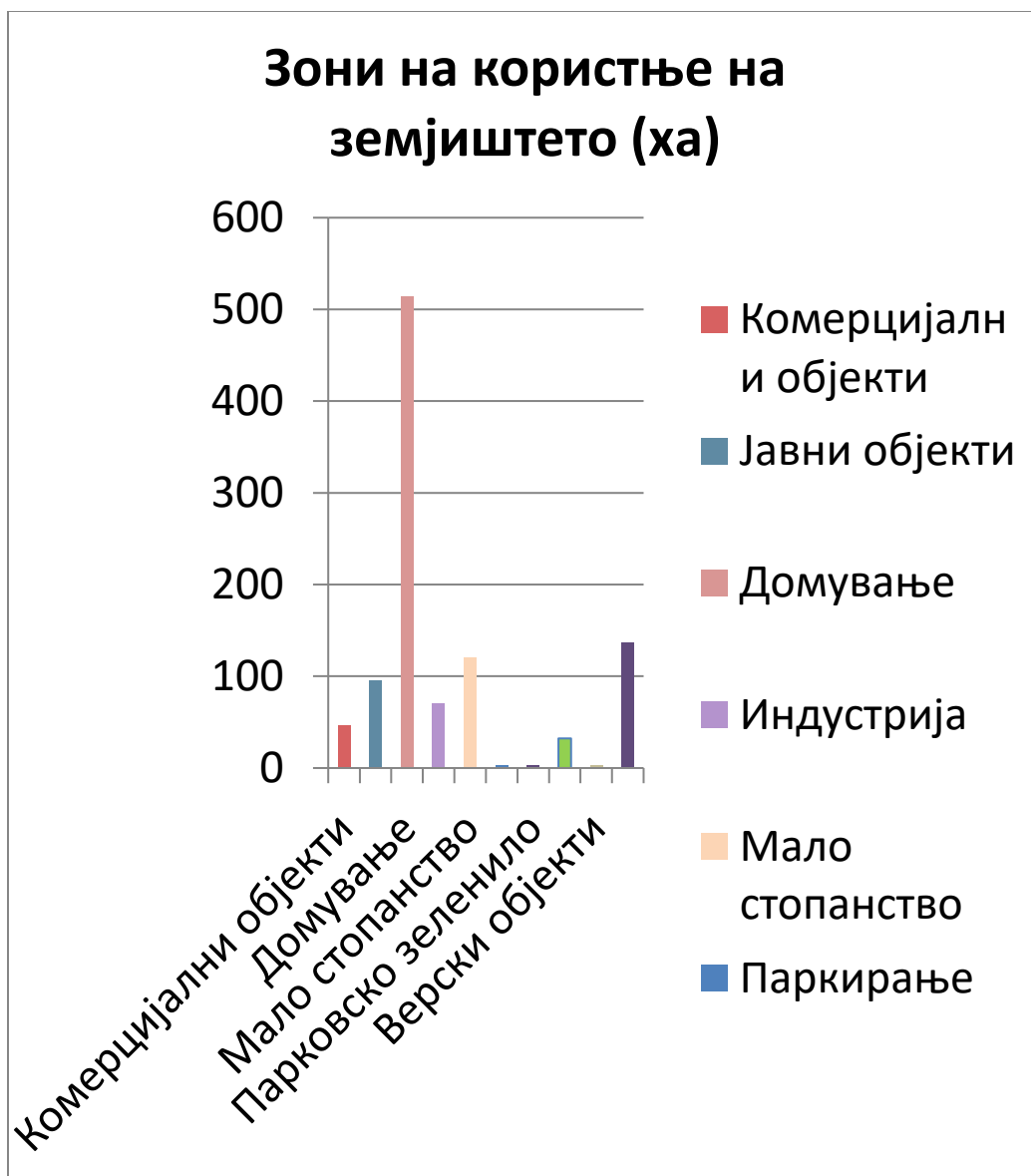
Источна и североисточна зона: Според мапата, овие делови од градот покриваат поголеми зелени сегменти.

Централно градско подрачје: Во централното подрачје се забележуваат помали, фрагментирани зелени зони, што е карактеристично за густо урбанизираните јадра.

Западна зона (Шарена Џамија / Универзитет): Во овој дел се забележува помала концентрација на големи означени зелени површини, со исклучок на почетните падини кон Шара кои се природен раб на градот.



Слика 5.8 Графички приказ на застапеноста на различните класи на намена на земјиштето во Тетово за 2022 година. (Извор: Општина Тетов)



примена на подвижни сенчници, модуларен и мобилен урбан мебел и соодветно нокно осветлување, просторот ќе биде безбеден и активен во текот на целиот ден. Поплочувањето со автентични текстури ќе ги нагласи зоните на активност без воведување на физички бариери.

Зелен коридор за активна мобилност

Се предлага формирање на континуирана пешачко-велосипедска зелена оска која физички ќе го поврзе Паркот на жената борец (кај Автобуската станица) со Градскиот плоштад. Овој коридор ќе обезбеди непречено движење за пешаци и велосипедисти преку проширени тротоари, засенчување со соодветни дрвореди и имплементација на смарт-клучи со соларни панели, безжично полнење и фонтани за пиење вода. Дизајнот целосно ќе ги почитува принципите на универзален дизајн (тактилни патеки и рампи) за лицата со попреченост и повозрасните сограѓани.

Активирање на речниот коридор на Пена

Реката Пена е најголемиот, но целосно изолиран природен ресурс на градот. Проектот предвидува уредување на речните брегови во активна променада, опремена со дрвени платформи за одмор, фитнес зони на отворено, детски рекреативни катчиња и микро-комерцијални содржини (киосци за освежување). Со засадување на автохтона крајречна вегетација ќе се овозможи биолошка рехабилитација на речното корито и подобро справување со атмосферските води.

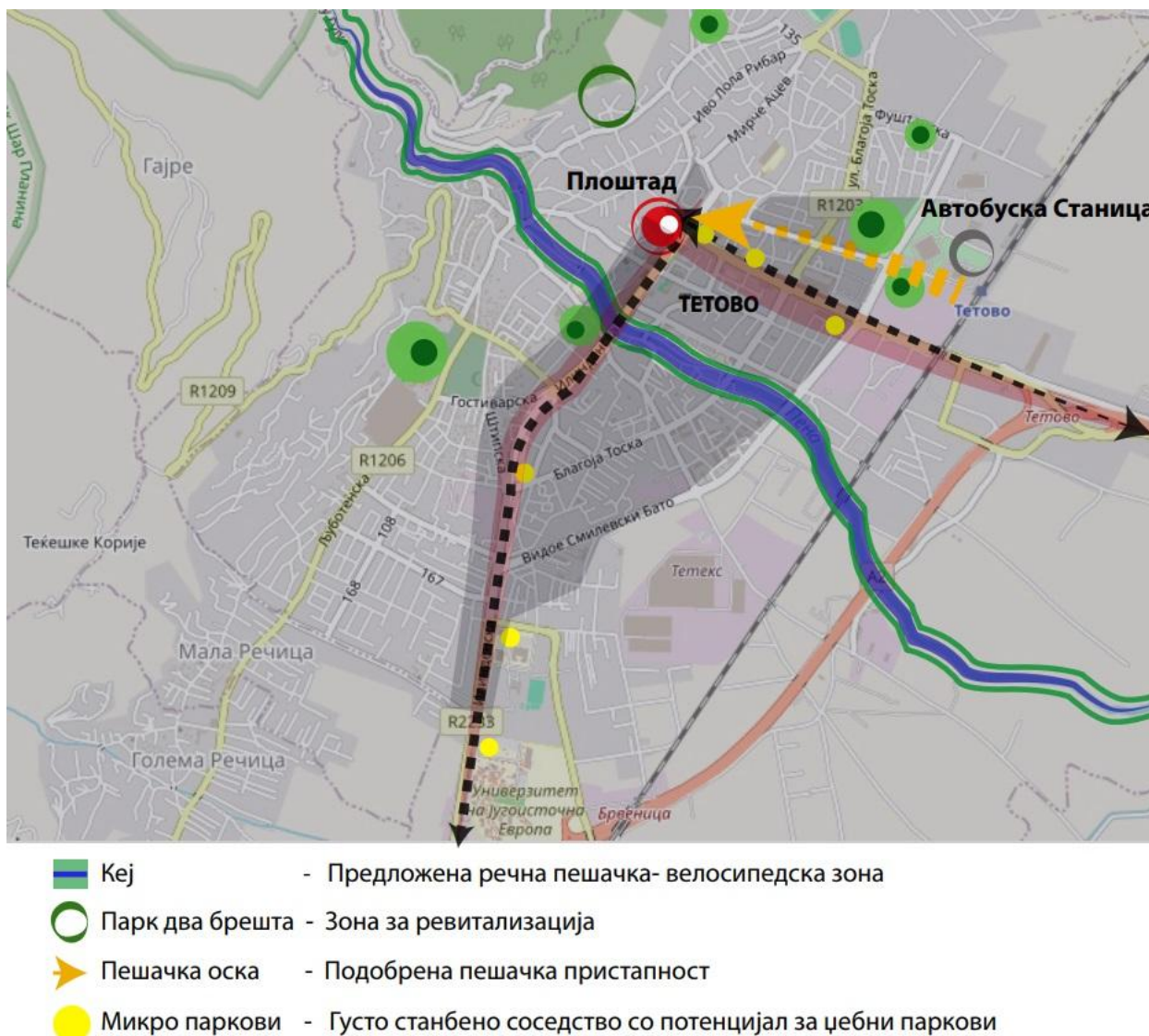
Микро-паркови („Џебни паркови“) во станбените населби

Во густо изградените квартали каде што е невозможно да се формираат големи паркови, се предлага трансформација на запустените и деградирани парцели во микро-зелени површини. Овие простори ќе се планираат во координација со локалните жители и ќе содржат мешана урбана опрема: засенчени клупи за повозрасните, мини-игралишта за децата, едукативни опрашувачки градини и системи за собирање на дождовница за наводнување на зеленилото.

Интегриран урбан мебел и привремени „Рор-уп“ инсталации

За да се надмине естетското шаренило и нефункционалноста на постојната опрема, се предлага развој на унифициран, кохерентен систем на мултифункционален урбан мебел кој интегрира седење, засенчување, осветлување и жардиниери во единствени модуларни елементи. Дизајнот треба суптилно да реферира кон локалниот идентитет преку текстури и материјали, но истовремено да биде отпорен на атмосферски влијанија и лесен за одржување.

Дополнително, се предлага воведување на сезонски, мобилни „рор-уп“ структури (мини-павилјони, летни сцени, кутии за замена на книги) кои брзо можат да ги трансформираат пасивните јавни простори за време на фестивали и културни настани, овозможувајќи евтино тестирање на просторните капацитети пред трајна изведба на проектите.



Слика 5.10 Концептуална мапа на предложените просторни интервенции, зелени коридори и микро-паркови во градот Тетово.

5.4. Анализа на постојната урбана опрема

Ова поглавје се фокусира на сеопфатна анализа и мапирање на постојната урбана опрема во јавните простори на Тетово, опфаќајќи три клучни категории: седечки елементи, корпи за отпад и урбано осветлување. Овие елементи претставуваат основна инфраструктура на јавниот простор и имаат директно влијание врз квалитетот на престојот, безбедноста, хигиената и перцепцијата на урбаната средина.

Преку детална теренска инвентаризација и систематска евалуација на моделите на седиштата означени како S1–S17, анализата ги разгледува нивните функционални, ергономски, технички и еколошки карактеристики, како и нивната состојба, издржливост и степен на прилагоденост кон различни кориснички групи. Посебно внимание е посветено на одржливоста на материјалите, можностите за одржување и рециклирање, како и на

начинот на кој овие елементи се интегрирани во различни урбани контексти – кеј, плоштад, транзитни зони и станбени квартави.

Анализата комбинира квалитативни и квантитативни методи, вклучувајќи компаративни табели, графикони, бодовни матрици и просторна интерпретација, со цел да се идентификуваат постојните дефицити, преклопувања и нефункционални решенија во урбаната опрема. Ваквиот пристап овозможува објективно рангирање и класификација на анализираните елементи, како и препознавање на добри практики кои можат да послужат како основа за идни дизајнерски интервенции. Поглавјето, на тој начин, претставува аналитичка платформа која ја поврзува дијагнозата на постојната состојба со формулирање на јасни насоки за развој на поодржлива, пофункционална и поинклузивна урбана опрема во Тетово.

5.4.1. Инвентаризација и проценка на постоечкиотите урбани клупи

Критериуми	Вредност / Опис		
Тип на мебел	Урбана клупа (надворешна) – S1		
Локација	Плоштад/Дом на култура		
Состојба	Средна – видливо оштетување на дрвените летви, избледување и лупење на премазот		
Материјал / Тип на материјал	Метална конструкција + дрвени летви		
Издржливост	Средна – металот е стабилен, дрвото е подложно на абеење и влага		
Поправливост	Добра – може да се заменат дрвените летви и/или да се обнови премазот		
Димензии (Ш x Д x В)	180 x 40 x 40		
Висина на потпирач за грб	24 cm (во највисоката точка на лакот)		
Висина на потпирач за раце	Нема потпирач за раце		
Комфорт	Низок до среден – нема потпирач, тесен простор за седење, тврда површина		
Прилагодливост	Никаква – фиксна конструкција		
Функционалност	Основна – наменета исклучиво за седење		
Безбедност	Добра – стабилна метална рамка, но нерамни или оштетени делови може да создадат ризик од гребење		

Критериуми	Вредност / Опис	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Среден – металот трае долго, дрвените делови бараат честа замена	
Еколошки отпечаток	Среден – металот има висок CO ₂ отпечаток, дрвото е попозитивно ако е сертифицирано	
Енергетска ефикасност во производство	Металните делови имаат висока енергетска потрошувачка за производство	
Рециклирачки материјали (%)	Високо – металот 100% рециклирачки, дрвото делумно	
Потекло на материјалите	Непознато (веројатно индустриски произведено, не локално дрво)	
Можност за монтажа	Добра – дрвените делови може да се одвојат од металната рамка	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Можна – лак/боја може да испушта VOC, особено со оштетување	
Отпорност на стареење	Ниска кај дрвото (оштетувања видливи), висока кај металната конструкција	
Upcycling потенцијал	Среден – металот може да се реупотреби, дрвото може да се замени	
Главни јачини (Main strengths)	Стабилна метална конструкција, долг век на траење на металот, едноставен дизајн лесен за одржување	
Главни проблеми	Излупен премаз на дрвото, оштетувања на краевите, изложеност на влага, нема потпирач, непријатна за седење подолго време	
Препорака	Замена или реставрација на дрвените летви, нанесување водоотпорен премаз, можна надградба со потпирач или избор на поиздржлив материјал (композитни летви)	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана клупа со потпирач – S2	
Локација	Дом на култура	
Состојба	Средна – делумно излупена боја на металот и дрвото, видливо стареење	
Материјал / Тип на материјал	Метална рамка + дрвени летви (седиште и потпирач)	
Издржливост	Средна – металот е стабилен, дрвото е чувствително на влага	
Поправливост	Добра – дрвените летви лесно може да се заменат, конструкцијата се одржува со премачкување	
Димензии (Ш x Д x В)	180 x 37 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	18 cm (27 cm над седиштето)	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Среден – благодарение на потпирачот, но седиштето е тврдо и тесно	
Прилагодливост	Нема – фиксна конструкција	
Функционалност	Основна функција за седење, подобрена со потпирач	
Безбедност	Добра – нема видливи остри рабови, стабилна конструкција	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Среден – металот има долг век, дрвото се троши побрзо	
Еколошки отпечаток	Среден – металната изработка има повисок CO ₂ отпечаток	
Енергетска ефикасност во производство	Металните делови бараат поголема енергија за производство	
Рециклирачки материјали (%)	Висок потенцијал – металот е целосно рециклирачки; дрвото делумно	
Потекло на материјалите	Најверојатно индустриски произведено, не локално дрво	
Можност за демонтажа	Добра – летвите може да се одвојат од металниот рам	

Критериуми	Вредност / Опис	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Можно присуство на VOC од старите премази/лакови	
Отпорност на стареење	Ниска кај дрвените елементи, средна кај металот	
Upcycling потенцијал	Среден – металната рамка може да се реупотреби	
Главни јачини (Main strengths)	Стабилен метален рам, има потпирач, едноставна и одржлива конструкција	
Главни проблеми	Оштетени дрвени летви, изгребана/излупена боја, изложеност на влага, можен ризик од понатамошно распаѓање	
Препорака	Зацврстување/замена на дрвените летви, шмирглање и премачкување со заштитна боја, проверка на стабилноста на врските	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана клупа со потпирач - S3	
Локација	Дом на култура	
Состојба	Добра – дрвените летви изгледаат скоро нови, металната конструкција е стабилна	
Материјал / Тип на материјал	Метална рамка (веројатно челик) + дрвени летви	
Издржливост	Висока – металот нуди голема стабилност; дрвото добро заштитено со лак	
Поправливост	Многу добра – секоја летва е одделно завртена и може да се замени	
Димензии (Ш x Д x В)	180 x 40 x 40	
Висина на потпирач за грб	45 cm – со 3 хоризонтални дрвени летви	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Добар – потпирачот нуди стабилна поддршка, седиштето е рамно и стабилно	
Прилагодливост	Нема – фиксна конструкција	

Критериуми	Вредност / Опис	
Функционалност	Основна функција за седење, потпирач за поголем комфор	
Безбедност	Висока – нема видливи оштетувања, острите рабови се заштитени	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Добра – металната конструкција има долг век; дрвото може да се обновува со премачкување	
Еколошки отпечаток	Среден – металот има повисок CO ₂ отпечаток, но дрвото е природен материјал	
Енергетска ефикасност во производство	Металот бара поголема енергија; дрвото минимална обработка	
Рециклирачки материјали (%)	Висок потенцијал – метал 100% рециклирачки; дрво делумно	
Потекло на материјалите	Индустриски произведени материјали; дрвото може да е фабрички обработено	
Можност за монтажа	Одлична – сите дрвени летви се прицврстени со видливи завртки	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Можни VOC од лакот/премазот на дрвото, но не е видливо критично	
Отпорност на стареење	Добра – дрвото е свежо премачкано, металот е заштитен	
Upcycling потенцијал	Среден – металната рамка може да се користи и со други материјали	
Главни јачини (Main strengths)	Неприменливо (веќе поставен јавен мобилијар)	
Главни проблеми	Одлична состојба, нов премаз, стабилна рамка, добра ергономија	
Препорака	Мало оштетување на една дрвена летва (видлива линија), околниот простор е валкан што може да влијае на долготрајноста	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана клупа со потпирач – S4	
Локација	Речна фронтална зона	
Состојба	Општо во средна состојба; видливо е абеење и корозија на металните делови	
Материјал / Тип на материјал	Комбинација: метална конструкција (железо) + дрвени летви за седиште и потпирач	
Издржливост	Висока за надворешни услови, но дрвото може да страда од влага ако не е правилно заштитено	
Поправливост	Средно добра – може да се заменат дрвените летви и да се пребојат металните делови	
Димензии (Ш x Д x В)	180 x 45 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	30 cm – со 2 хоризонтални дрвени летви (26 cm над седиштето)	
Висина на потпирач за раце	18 cm	
Комфорт	Среден – дрвени летви, исправен агол, но не особено ергономска форма	
Прилагодливост	Ниска – фиксна конструкција, не може да се прилагодува	
Функционалност	Основна – седење за две до три лица	
Безбедност	Добра, но влажната површина може да биде лизгава; металните делови можат да рѓосуваат	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Умерена – долготрајна метална конструкција, дрво со потреба од одржување	
Еколошки отпечаток	Среден – метална конструкција + дрво	
Енергетска ефикасност во производство	Ниска до средна – метал бара енергоинтензивно производство; дрво е поеколошки дел	
Рециклирачки материјали (%)	~70–80% метал + делумно дрво	
Потекло на материјалите	Најверојатно индустриски произведени локално/регионално; дрво природно	

Критериуми	Вредност / Опис	
Можност за демонтажа	Средна – металната рамка може да се раздвојува, дрвото може да се одвртат	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Можни лакови/боја на дрвото; метални премази; генерално ниска по монтажата	
Отпорност на стареење	Метал: добра, но склона кон рѓосување; дрво: чувствително на дожд и сонце	
Upcycling потенцијал	Дрвените летви може да се заменат/реставрираат, металната конструкција може да се репурпосира	
Главни јачини (Main strengths)	Издржлива конструкција, стабилност, погодна за надворешна употреба	
Главни проблеми	Влага, можност за рѓосување, дрвото може да изгније или да се искриви со време	
Препорака	Потребно е редовно одржување со антикорозивна заштита на металот и заштита/замена на дрвените летви за продолжување на работниот век и подобрување на комфорот.	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана клупа со потпирач – S5	
Локација	Кеј – пешачка патека	
Состојба	Лоша до средна – дрвените летви се силно оштетени, излупени, делумно распукани; бетонската конструкција стабилна	
Материјал / Тип на материјал	Бетонска носечка конструкција + дрвени масивни летви за седиште и потпирач	
Издржливост	Многу висока за бетон, средна за дрвениот дел кој очигледно страда од атмосферски влијанија	
Поправливост	Добра – дрвените летви може да се заменат; бетонскиот дел е долготраен и не бара многу интервенции	
Димензии (Ш x Д x В)	200 x 45 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	25 cm – со 2 хоризонтални дрвени летви (20 cm над седиштето)	

Критериуми	Вредност / Опис	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Низок – тврд бетон под дрвото; дрвото е нерамно, оштетено и непријатно за седење	
Прилагодливост	Ниска – фиксна конструкција, не може да се подесува	
Функционалност	Основна – седење за 2–3 лица; ориентирана кон поглед кон реката	
Безбедност	Средна – дрвото има остри рабови од оштетување; влажноста го прави лизгаво; бетон е стабилен	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Висока кај бетон (долг век), ниска кај дрво поради брзо абење без одржување	
Еколошки отпечаток	Средно висок – бетонот има голем CO ₂ отпечаток; дрвото е природен материјал но сè уште не е добро одржувано	
Енергетска ефикасност во производство	Ниска – бетон = високо енергетски интензивен; дрво поефикасно	
Рециклирачки материјали (%)	~40–50% (дрво делумно, бетон тешко се рециклира)	
Потекло на материјалите	Локален бетон и дрвени летви, веројатно индустриски обработени	
Можност за демонтажа	Ниска до средна – дрвените делови може да се одстранат; бетонските блокови се фиксирани	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска – дрвото може да има лак/пропитка; бетон е нетоксичен по стврднување	
Отпорност на стареење	Бетон: многу добра; дрво: слаба без заштита од дожд/сонце	
Upcycling потенцијал	Среден – дрвото може да се рециклира/реставрира; бетонска основа може да се искористи за нов дизајн	
Главни јачини (Main strengths)	Многу стабилна конструкција, добра интеграција во околината, ориентација кон реката	
Главни проблеми	Дрвото е силно оштетено, непријатно за седење, безбедносни ризици (трње, остри рабови)	
Препорака	Се препорачува целосна замена на оштетените дрвени летви со поотпорен материјал и редовна заштита од атмосферски влијанија, со цел подобрување на безбедноста, комфорот и продолжување на употребливоста на клупата.	

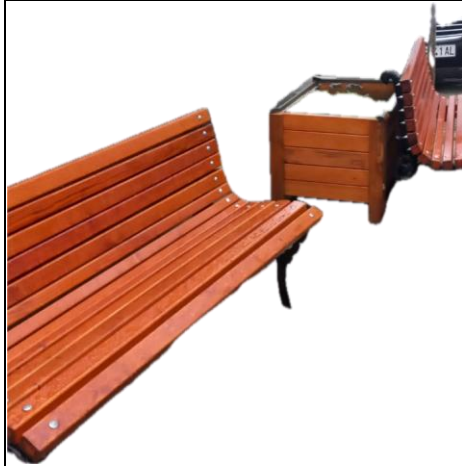
Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана клупа со потпирач – S6	
Локација	Кеј – пешачка зона	
Состојба	Добра – дрвото изгледа релативно ново и добро лакирано, конструкцијата од бетон е стабилна	
Материјал / Тип на материјал	Масивно дрво (летви) + бетонски странични носачи со декоративна форма	
Издржливост	Висока – бетон многу издржлив; дрво добро заштитено со лак, но чувствително на вода и сонце	
Поправливост	Добра – можат да се заменат дрвените летви; бетонската структура е монолитна но трајна	
Димензии (Ш x Д x В)	190 x 35 x 52 cm	
Висина на потпирач за грб	22 cm – со 2 хоризонтални дрвени летви (28 cm над седиштето)	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Среден – дрвото е мазно и добро обработено; но се задржува вода на седиштето по дожд, што ја намалува удобноста; нема ергономски закривувања	
Прилагодливост	Ниска – фиксна конструкција, без подесување	
Функционалност	Добра – удобна за краткотрајно седење, визуелно отворена, без агресивни форми	
Безбедност	Добра – бетон стабилен, дрво добро обработено; единствен ризик е лизгава површина кога е влажна	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Висок век на траење за бетон; дрвото бара периодично лакирање за продолжен животен циклус	
Еколошки отпечаток	Среден – бетон има висок CO ₂ отпечаток; дрвото е природен материјал, лесно обновлив	
Енергетска ефикасност во производство	Ниска до средна – бетон е енергетски интензивен; дрвото бара помалку енергија	
Рециклирачки материјали (%)	40–50% – дрво делумно рециклирачко; бетон многу ограничено	

Критериуми	Вредност / Опис	
Потекло на материјалите	Локални/регионални градежни материјали (дрво и бетон)	
Можност за демонтирање	Средна – дрвото може да се одврта; бетонските елементи се монолитни, тешки	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Мала – лакот на дрвото може да испушта VOC при аплицирање, но не и по сушење	
Отпорност на стареење	Бетон: многу добра; дрво: умерена отпорност, зависи од редовно одржување	
Upcycling потенцијал	Среден – дрвените делови можат да се употребат повторно; бетонските носачи тешко, но можат да се искористат во нов мебел	
Главни јачини (Main strengths)	Многу стабилна конструкција, интересен визуелен дизајн, добар контраст на материјали, Модерно-рустичен изглед; декоративните бетонски странични делови даваат визуелен идентитет; темното дрво создава убав контраст со светлиот бетон.	
Главни проблеми	Седиштето задржува вода; дрвото ќе бара често одржување; бетон тешко се рециклира	
Препорака	Се препорачува редовно одржување и повторно лакирање на дрвените летви, како и мали дизајнерски интервенции за подобро одведување на водата од седиштето со цел зголемување на комфорот и долговечноста.	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Надворешна јавна клупа – S7	
Локација	Кеј, пешачка зона	
Состојба	Влажна, видливо оштетена и излижана површина; појава на влага и можна гниење на делови од дрвото	
Материјал / Тип на материјал	Дрвени даски (веројатно бука/бор) + метален носач/рамка	
Издржливост	Средна до ниска поради континуирана експозиција на	

Критериуми	Вредност / Опис	
	влага; металот изгледа стабилен, дрвото старее брзо	
Поправливост	Висока – може да се заменат дрвените даски, да се лакира/импрегнира повторно	
Димензии (Ш x Д x В)	200 x 55 x 50 cm	
Висина на потпирач за грб	50 cm	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Средно-низок: даските се рамни и тврдички, без ергономска закривеност; влажност ја намалува удобноста	
Прилагодливост	Нема прилагодливи делови; фиксна конструкција	
Функционалност	Основна – седење за кратко време; локацијата нуди панорамско седење покрај вода	
Безбедност	Општо безбедна, но ризик од лизгање поради влажни даски; потенцијално оштетено дрво може да предизвика трески	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Просечна – дрвените елементи мораат често да се заменуваат; металот трае долго	
Еколошки отпечаток	Среден – дрво е одржливо, но честата замена ја зголемува емисијата; металното производство има повисок CO ₂ отпечаток	
Енергетска ефикасност во производство	Дрво → ниска енергетска побарувачка; метал → висока	
Рециклирачки материјали (%)	Метал 100% рециклирачки; дрво делумно (~50%) ако не е премногу оштетено/лакирано	
Потекло на материјалите	Најверојатно локално или регионално дрво; метал можеби индустриски произведен во фабрика	
Можност за монтажа	Висока – дрвените елементи изгледа дека се прицврстени со штрафови/завртки	

Критериуми	Вредност / Опис	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Лак или импрегнација може да испушта VOC; под дожд овие материјали се распаѓаат побрзо	
Отпорност на стареење	Ниска кај дрвените делови (пукнатини, гниење); висока кај металот	
Upcycling потенцијал	Добар – дрво може да се искористи за помали декоративни предмети; металните делови за нови конструкции	
Главни јачини (Main strengths)	• Природен и топол изглед во урбано зелено опкружување • Металната конструкција е издржлива • Лесна замена на делови (модуларност) • Добра позиција покрај река (атрактивна локација) Едноставна конструкција која ефтиниува одржување	
Главни проблеми	• Дрвените даски задржуваат вода → брзо стареат • Површината е лизгава при дожд (ризик од повреда) • Недоволна ергономија – рамно и тврдо седиште • Потенцијално гниење и деформација на дрвото • Нема заштита од дожд (ни покрив, ни наклон) Аестетски изглед е деградиран поради влагата	
Препорака	• Смена на дрвените даски со повеќе издржлив материјал: ○ импрегнирано дрво ○ термички третирано дрво ○ композитни даски (WPC – wood plastic composite) • Додавање мал наклон на седиштето за да не задржува вода. • Редовно лакирање/заштита на дрвените елементи (1–2х годишно). • Анти-лизгачка обработка на површината. • Опционално: Мал надстрешник или интегрирана дренажа за да се намали контактот со дожд. Подобрување на ергономијата: благо закривување на седиштето или додавање на попрофилирани даски.	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана надворешна клупа S8	
Локација	Калдрма, пешачка зона или улично катче покрај ограда; изложена на врнежи и влага	
Состојба	Одлична – свежо лакирана, визуелно нова, добро одржана; минимални знаци на абење	
Материјал / Тип на материјал	Масивно дрво (веројатно бор/буква) + леано железо или челични странични носачи	
Издржливост	Висока (метал) + средна (дрво), добро подготвена површина за надворешни услови	
Поправливост	Многу висока – секоја даска е поединечно заменлива; металната конструкција е трајна	
Димензии (Д x Ш x В)	170 x 40 x 45cm	
Висина на потпирач за грб	45 cm	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Средно добар до добар: благо закривени летви, потпирач со пријатен агол; сепак тврд материјал и без ергон. перница	
Прилагодливост	Нема подвижни елементи; фиксна конструкција	
Функционалност	Одлична за кратко и средно долго седење; визуелно квалитетна урбана опрема; добро се вклопува со околината	
Безбедност	Многу безбедна; металната рамка е стабилна	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Добра – металот трае долги децении; дрвото има просечен век но е лесно одржливо	
Еколошки отпечаток	Средно низок – дрво е природно, металот е енергетски интензивен но 100% рециклирачки	
Енергетска ефикасност во производство	Дрво → ниска; метал → средно до висока енергетска побарувачка	
Рециклирачки материјали (%)	Дрво 40–70% (зависно од лакот); метал 100% рециклирачки	
Потекло на материјалите	Најверојатно локално или регионално дрво; метал индустриско производство	

Критериуми	Вредност / Опис	
Можност за демонтажа	Одлична – дрвените сегменти се шрафени; металната рамка е еден дел	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Лакот може да содржи VOC; во нова состојба има мирис; потоа се намалува	
Отпорност на стареење	Добра ако се лакира 1–2× годишно; без одржување се јавуваат пукања поради UV и дожд	
Upcycling потенцијал	Висок – дрвото може да се претвори во декоративни елементи; металниот дел во нов мебел	
Главни јачини	Свеж лак → подобра отпорност на вода Метална конструкција со висок век на траење Ергономски поблага кривина на седиштето и потпирачот Погодна за долготрајно користење Даските се индивидуално заменливи → лесно одржување	
Главни проблеми	Лакот акумулира вода поради глатка површина (лизгање) Дрвото може да се извитка ако не се одржува Леаното железо може да рѓосува на споевите ако оштети боја Клупата е релативно тешка за преместување (но тоа може да биде и предност)	
Препорака	Анти-лизгачки премаз за да се намали ризик од лизгање при дожд. Редовно лакирање (1× годишно) со UV-заштитен лак. Проверка на металните делови за корозија и нивно заштитување. Додавање минимален агол (наклон) за дренажа на водата од седиштето.	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Урбана надворешна клупа – S9	
Локација	Парк – Шарена Џамија	
Состојба	Добра, но не нова – видливи траги од корозија/патина, влажна, валкана поради околината	
Материјал / Тип на материјал	Целосно метална конструкција (цевки и решетка), веројатно челик со црн заштитен премаз	
Издржливост	Многу висока – металот е отпорен на вандализам и механички оштетувања; мал ризик од кршење	
Поправливост	Средна – конструкцијата е неделива; ако дел се свитка, тешко се заменува; бара заварување	
Димензии (Д x Ш x В)	200 x 40 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	40 cm	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Средно низок: металните прачки создаваат тврд и ладен осет; недостасува широк аудитивен ослон; добра вентилација но не е ергономски меко	
Прилагодливост	Нема подвижни елементи	
Функционалност	Добра за кратко седење; одлична отпорност на дожд, снег и влага поради отворена решетка (не задржува вода)	
Безбедност	Висока механичка сигурност; минимален ризик од лизгање поради структура; но студена површина и потенцијална корозија	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Висока – металните конструкции имаат долг век (20+ години); минимално одржување треба	
Еколошки отпечаток	Средно висок (челик има поголема CO ₂ емисија при производство), но долг животен век го намалува влијанието	
Енергетска ефикасност во производство	Висока	

Критериуми	Вредност / Опис	
Рециклирачки материјали (%)	метал 100% рециклирачки	
Потекло на материјалите	Индустриско производство	
Можност за демонтажа	Лесно за расклопување	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Нисок потенцијал на VOC	
Отпорност на стареење	Висока издржливост	
Upcycling потенцијал	Високо, деловите можат да се користат повторно во друг мебел, градежништво или индустриски апликации	
Главни јачини	Не задржува вода → одлично за врнежливи услови Многу долготрајна конструкција Отпорна на вандализам Вентилирана површина → брзо сушење Совршена за паркови со многу влага и кал Интегриран потпирач и заоблени форми за безбедност	
Главни проблеми	Металот е ладен во зима и непријатен за подолг контакт Нема ергономска удобност (тврд, решеткаст дизајн) Корозија може да започне ако се оштети премазот Тешка е → невозможна за лесно поместување Мали предмети може да паднат низ решетките	
Препорака	Антикорозивно премачкување на секои 2–4 години. Поставување на бетонски/цврсти основи за да не тоне во земја. Опционално: додавање дрвена или композитна површина за подобар comfort (хибриден дизајн). Редовно чистење од лисја и кал. Доколку се планира инклузивен дизајн → вертикални прачки со поблиско растојание за повеќе стабилност.	

Критериуми	Вредност / Опис		
Тип на мебел	Јавна клупа со потпирач за грб – S10		
Локација	Надворешен јавен простор – мало паркче - Ајдучко		
Состојба	Функционална, но забележливо абење; присутна акумулација на вода и нечистотии		
Материјал / Тип на материјал	Комбинација од метална конструкција (челик) и дрвени или композитни летви		
Издржливост	Средно–висока; металната структура е долготрајна, но дрвените летви се чувствителни на влага		
Поправливост	Средна – летвите можат да се заменат, но конструкцијата е фиксно анкерирана		
Димензии (Д x Ш x В)	200 x 45 x 40 cm		
Висина на потпирач за грб	30 cm		
Висина на потпирач за раце	10 cm		
Комфорт	Среден – рамен агол, без ергономско обликување; студена и влажна по дожд		
Прилагодливост	Ниска – фиксна позиција, без можност за модуларност		
Функционалност	Основна (седење); без дополнителни функции (одвод на вода)		
Безбедност	Средна – лизгава површина при дожд, локви во непосредна близина зголемуваат ризик		
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Средна – долг конструкциски век, но честото одржување на летвите го зголемува отпечатокот		
Еколошки отпечаток	Среден – метал и обработено дрво имаат висока почетна енергија		
Енергетска ефикасност во производство	Ниска–средна (заварување, метална обработка, заштитни премази)		
Рециклирачки материјали (%)	~70–85% (металот е целосно рециклирачки, дрвото делумно)		

Критериуми	Вредност / Опис	
Потекло на материјалите	Индустриски обработени, веројатно локално или регионално производство	
Можност за демонтажа	Средна – летвите може да се одвојат, конструкцијата тешко	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Потенцијално присутна (лакови, заштитни премази на дрвото и бојата)	
Отпорност на стареење	Средна – корозија и гниење можни без редовно одржување	
Upcycling потенцијал	Висок – летвите може да се заменат со рециклирана пластика или отстрането дрво	
Главни јачини	Робусна и стабилна конструкција Јасен, едноставен и неутрален дизајн Соодветна висина за различни корисници Добра интеграција во јавен простор	
Главни проблеми	Акумулација на дождовница на седиштето и под клупата Недостаток на ергономска поддршка (лумбална зона, наслони за раце) Лизгавост и студен контакт во влажни услови Нема дренажен дизајн или агол на летвите	
Препорака	Да се воведат благ наклон или процепи за одвод на вода Замена на летвите со рециклирана пластика или термички третирано дрво Додавање наслони за раце за подобра ергономија и пристапност Подобрување на подлогата (дренажен под) околу клупата Користење ниско-VOC премази за поголема еколошка одржливост	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Јавна клупа со потпирач за грб и интегрирани наслони за раце – S11	
Локација	Пешачка зона / тротоар пред угостителски објект (урбана средина)	
Состојба	Функционална, но видливо истрошена; влажни летви, истрошен премаз	
Материјал / Тип на материјал	Метална конструкција (бојадисан челик) + дрвени летви	
Издржливост	Средна – металот е стабилен, но бојата е оштетена; дрвото е чувствително на дожд	
Поправливост	Висока – летвите и металните делови може да се заменат одделно	
Димензии (Д x Ш x В)	180 x 37 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	20 cm (20 cm над седиштето)	
Висина на потпирач за раце	20 cm	
Комфорт	Средно–добар – наслоните за раце го подобруваат седењето; површината е ладна и влажна по дожд, аголот на потпирачот е речиси вертикален → ограничен релакс	
Прилагодливост	Ниска – фиксна, не модуларна	
Функционалност	Добра – седење, потпирање, поголема пристапност за постари лица	
Безбедност	Средна – наслоните за раце се корисни, но влажното дрво може да биде лизгаво	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Средна – долг животен век со редовно одржување	
Еколошки отпечаток	Средно висок – метал + лакирано дрво	

Критериуми	Вредност / Опис	
Енергетска ефикасност во производство	Ниска–средна (метална обработка, боење, дрво)	
Рециклирачки материјали (%)	~70–80% (метал целосно, дрво делумно)	
Потекло на материјалите	Индустриски, веројатно регионално производство	
Можност за монтажа	Висока – болтова врска помеѓу летвите и рамката	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Можно присуство (боја на метал, лак за дрво)	
Отпорност на стареење	Средна – дрвото темнее и пука без редовна заштита	
Upscycling потенцијал	Висок – замена на дрвото со рециклиран композит или HDPE	
Главни јачини	Подобро ергономија благодарение на наклоните за раце Јасен визуелен идентитет (контраст црвено/дрво) Добро позиционирана во урбан контекст Лесна поправка и одржување	
Главни проблеми	Акумулација на дождовница на седиштето (рамни летви) Лупење и корозија на бојата на металната конструкција Влажно дрво → намален комфор и лизгавост Недостаток на дренажен детал или наклон	
Препорака	Да се вметнат поголеми растојанија меѓу летви или благо закривување за одвод на вода Замена на дрвените летви со рециклиран композит (anti-slip) Користење прашкасто бојадисување (powder coating) наместо класична боја Додавање микро-дренажен наклон во конструкцијата Подобрување со ниско-VOC материјали	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Линеарна јавна клупа без потпирач (интегрирана со ниска ограда / сид) – S12	
Локација	Урбан тротоар покрај булевардот Маршал Тито	
Состојба	Добра до средна; конструктивно стабилна, но видливо влажна	
Материјал / Тип на материјал	Дрвени или композитни летви + бетонска / сидна подлога	
Издржливост	Висока – масивна подлога, минимални подвижни делови	
Поправливост	Средна – летвите можат да се заменат, бетонската база не	
Димензии (Д x Ш x В)	180 x 42 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	Нема	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Низок–среден – Нема потпирач → не е погодна за подолго седење. Рамна, континуирана површина → вода јасно се задржува по дожд. Добра за кратко чекање, социјални интеракции, неформално седење	
Прилагодливост	Многу ниска – целосно фиксна, дел од инфраструктура	
Функционалност	Основна – седење или потпирање; може да служи и како урбана ивица	
Безбедност	Средна–висока – стабилна, без остри делови; влажноста може да предизвика лизгање	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Добра – долг животен век поради масивна конструкција	
Еколошки отпечаток	Среден – бетонската база има висок CO ₂ отпечаток	
Енергетска ефикасност во производство	Средна – бетон (висока енергија), дрво (средна)	
Рециклирачки материјали (%)	~60–70% (дрвото делумно, бетон тешко рециклирачки)	
Потекло на материјалите	Локални / индустриски (бетон и дрво)	

Критериуми	Вредност / Опис	
Можност за демонтажа	Ниска – интегрирана во урбаната структура	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска–средна (заштитни премази на летвите)	
Отпорност на стареење	Висока – бетон + масивни летви стареат стабилно	
Уpscycling потенцијал	Среден – летвите лесно се заменуваат со рециклирани материјали	
Главни јачини	Исклучително стабилна и вандал-отпорна Чист, минималистички и урбано интегриран дизајн Мултифункционална (седиште + урбана ивица) Долг животен циклус со минимално одржување	
Главни проблеми	Ниско ниво на комфор поради недостиг на ергономски елементи Забележлива акумулација на дождовница Нема јасна пристапност за постари лица или лица со намалена мобилност Бетонската база има висок еколошки отпечаток	
Препорака	Да се воведо микро-нагиб (1–2%) за одвод на вода Замена на постојните летви со анти-лизгачки композит Делумно додавање модуларни наслони на одредени сегменти Користење рециклиран бетон или low-cement бетон при идни интервенции	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Јавна клупа со потпирач за грб и раце- S13	
Локација	Тротоар со активен приземен фронт (дуќани и јавни содржини)	
Состојба	Добра, но влажна; минимална деградација на материјалите	
Материјал / Тип на материјал	Метална конструкција (челик) + дрвени или композитни летви; метална корпа	
Издржливост	Средно–висока – стабилна рамка, изложена на сообраќај и загадување	
Поправливост	Висока – летвите, корпата и рамката се модуларни	

Критериуми	Вредност / Опис	
Димензии (Д x Ш x В)	160 x 40 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	30 cm	
Висина на потпирач за раце	18 cm	
Комфорт	Среден – основна потпора, но пократка должина ја ограничува употребливоста. Потпирачот обезбедува подобра ергономија од линеарните клупи. Рамните летви задржуваат вода по дожд	
Прилагодливост	Ниска – фиксна позиција и ориентација	
Функционалност	Висока – седење + одлагање отпад (2 функции во 1 елемент)	
Безбедност	Средна – стабилна, но блиску до сообраќај; влажни летви → ризик од лизгање	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Средна – модуларноста го продолжува работниот век	
Еколошки отпечаток	Среден – метал + заштитено дрво	
Енергетска ефикасност во производство	Ниска–средна (метална обработка + боење)	
Рециклирачки материјали (%)	~75–85% (метал скоро целосно, дрво делумно)	
Потекло на материјалите	Индустриски, најчесто регионално производство	
Можност за монтажа	Висока – корпата и седиштето се одделни модули	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска–средна (лакови, бои, заштитни премази)	
Отпорност на стареење	Средна – дрвото ќе бара редовно одржување	
Upcycling потенцијал	Висок – лесна замена на летвите со рециклиран композит	
Главни јачини	Интегрирање на повеќе урбани функции во еден елемент Чист и унифициран дизајн со стандардна градска естетика Добра модуларност и сервисабилност Поттикнува хигиена и одговорно користење на просторот	
Главни проблеми	Намален комфор поради близина на сообраќај Акумулација на дождовница Асиметрична употреба (корпата ја намалува должината за седење)	

Критериуми	Вредност / Опис	
Препорака	Да се воведат закосени или профилирани летви за подобар одвод Замена со рециклиран композит (anti-slip) Физичко оддалечување од раб на улица каде што е можно Користење прашкasto бојадисување (powder coating) за подолг век Опционално раздвојување на корпата од клупата во зони за подолг престој	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Линеарна јавна клупа без потпирач - S14	
Локација	Јавен пешачки простор / институционален комплекс (Главна пошта)	
Состојба	Добра – стабилна и функционална; видливо влажна од дожд	
Материјал / Тип на материјал	Дрвени летви + метална носечка рамка (челик)	
Издржливост	Средно–висока – едноставна конструкција со мал број критични споеви	
Поправливост	Висока – летвите и металните носачи лесно се заменуваат	
Димензии (Д x Ш x В)	200 x 36 x 40 cm	
Висина на потпирач за грб	Нема	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Низок–среден – погодна за кратко седење или пауза. Нема потпирач за грб , што значително го намалува комфорот. Рамни летви → јасна акумулација на дождовница.	
Прилагодливост	Многу ниска – фиксна, без модуларност	
Функционалност	Основна – седење; секундарно и краткотрајно чекање	
Безбедност	Средна – стабилна, но влажните летви може да бидат лизгави	

Критериуми	Вредност / Опис	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Добра – едноставниот дизајн овозможува долг работен век	
Еколошки отпечаток	Среден – металната рамка има повисок CO ₂ отпечаток	
Енергетска ефикасност во производство	Средна (стандардна метална изработка + обработка на дрво)	
Рециклирачки материјали (%)	~70–85% (метал речиси целосно, дрво делумно)	
Потекло на материјалите	Индустриски / регионално достапни материјали	
Можност за демонтажа	Висока – целосно болтована конструкција	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска–средна (лакови или масла за дрво)	
Отпорност на стареење	Средна – дрвото бара редовна заштита	
Upscycling потенцијал	Висок – лесна замена со рециклиран композит или повторна употреба	
Главни јачини	Многу едноставна и јасна конструкција Ниска цена и лесно одржување Добра интеграција во отворен јавен простор Висока поправливост и upscycling потенцијал	
Главни проблеми	Слаба ергономија за подолг престој Акумулација на вода по дожд Ограничена пристапност за постари лица Ниско ниво на визуелен идентитет	
Препорака	Да се воведи микро-наклон (1–2%) или заоблен профил на летвите Користење анти-лизгачки композитни материјали Делумно додавање потпирач или сегменти со грбна поддршка Примена на еко-заштитни, ниско-VOC премази	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Линеарна јавна клупа со потпирач за раце- S15	
Локација	Плоштад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Состојба	Добра – функционална	
Материјал / Тип на материјал	Метална конструкција (челик) + дрвени или композитни летви	
Издржливост	Средно–висока – едноставна и стабилна конструкција	
Поправливост	Висока – летвите и рамката се лесно заменливи	
Димензии (Д x Ш x В)	160 x 35 x 50 cm	
Висина на потпирач за грб	Нема	
Висина на потпирач за раце	18 cm	
Комфорт	Среден – наслоните за раце ја подобруваат употребливоста, но нема грбна поддршка→ не е наменета за долг престој. Рамни летви задржуваат дождовница	
Прилагодливост	Ниска – фиксна ориентација и позиција	
Функционалност	Добра – седење, потпирање, лесно станување	
Безбедност	Средна–висока – стабилна, без остри рабови; лизгаво кога е влажно	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Добра – едноставен дизајн со долг работен век	
Еколошки отпечаток	Среден – металната конструкција има повисок CO ₂ отпечаток	
Енергетска ефикасност во производство	Средна (стандардна метална и дрвена обработка)	
Рециклирачки материјали (%)	~75–85% (метал речиси целосно, дрво делумно)	
Потекло на материјалите	Индустриски / регионално достапни	
Можност за монтажа	Висока – целосно болтована конструкција	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска–средна (заштитни премази за дрво и метал)	

Критериуми	Вредност / Опис	
Отпорност на стареење	Средна – дрвото ќе бара редовно одржување	
Upcycling потенцијал	Висок – можност за замена со рециклиран композит	
Главни јачини	Подобро пристапност од моделите без наслони Јасен, современ и минималистички изглед Лесна поправка и долгорочна употреба	
Главни проблеми	Ограничен комфор без грбна поддршка Акумулација на вода по дожд Недоволна ергономија за подолго седење Нема тактилна или анти-лизгачка површина	
Препорака	Да се додаде благо профилирање или нагиб за одвод на вода Замена на летвите со анти-лизгачки рециклиран композит Делумно воведување варијанти со потпирач за грб во истата линија Користење ниско-VOC заштитни премази	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Јавна клупа без потпирач за грб и без наслони – S16	
Локација	Плоштад	
Состојба	Средна – функционална, видливи траги од користење	
Материјал / Тип на материјал	Метална конструкција + дрвени рифлести летви	
Издржливост	Средна – стабилна рамка, но дрвото е изложено	
Поправливост	Висока – летвите се стандардни и заменливи	
Димензии (Д x Ш x В)	150 x 30 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	Нема	
Висина на потпирач за раце	Нема	
Комфорт	Нисок–среден – Недостасува потпирач за грб → слаба поддршка за ’рбетот Погодна само за краткотрајно користење (5–10 минути)	

Критериуми	Вредност / Опис	
	Висината на седиштето е ергономски прифатлива Не е приспособена за постари лица или лица со намалена подвижност	
Прилагодливост	Ниска	
Функционалност	Основна – краткотрајно седење	
Безбедност	Средна – стабилна, но нечистотија и отпад околу	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Средна – едноставна конструкција со долг век	
Еколошки отпечаток	Среден – комбинација метал/дрво	
Енергетска ефикасност во производство	Средна	
Рециклирачки материјали (%)	~75–80%	
Потекло на материјалите	Индустриски стандард	
Можност за демонтирање	Висока – болтован систем	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска–средна (заштитен премаз)	
Отпорност на старење	Средна – дрвото ќе бара редовно одржување	
Upcycling потенцијал	Висок	
Главни јачини	Едноставна и издржлива конструкција, висок процент на рециклирачки материјали, лесна демонтирање и поправка, соодветна висина на седиштето, флексибилна за различни урбани простори.	
Главни проблеми	Недостаток на потпирач за грб и раце, низок ергономски комфор, несоодветна за постари лица и подолг престој, дрвените летви се изложени на атмосферски влијанија и бараат редовно одржување.	
Препорака	Да се користи како дополнителен елемент за краткотрајно седење, со редовно одржување на дрвените летви, или да се разгледа замена/надградба со модел со потпирач за грб за подобра ергономија и инклузивност.	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на мебел	Јавна урбана клупа – S17	
Локација	Покрај Булевардот Маршал Тито- пред институционален објект (банка)	
Состојба	Средна до добра, со видливо абење и нечистотии	
Материјал / Тип на материјал	Седиште: дрвени летви; Конструкција: челична рамка	
Издржливост	Висока – стабилна метална конструкција	
Поправливост	Висока – можност за замена на дрвените елементи	
Димензии (Д x Ш x В)	146 x 43 x 45 cm	
Висина на потпирач за грб	Нема	
Висина на потпирач за раце	18 cm	
Комфорт	Ниско до средно	
Прилагодливост	Ниска – фиксна форма	
Функционалност	Основна; погодна за кратко седење	
Безбедност	Висока – без остри рабови, стабилна основа	
Одржливост – Животен циклус (LCA)	Средна	
Еколошки отпечаток	Среден (метал + дрво)	
Енергетска ефикасност во производство	Средна	
Рециклирачки материјали (%)	~70%	
Потекло на материјалите	Индустриски обработени материјали	
Можност за монтажа	Да	
Токсичност (VOC, хемикалии)	Ниска	

Критериуми	Вредност / Опис	
Отпорност на стареење	Добра	
Upcycling потенцијал	Висок	
Главни јачини	Цврста и долготрајна конструкција Едноставен, неутрален урбан дизајн Лесна за одржување и поправка Може да се користи модуларно и сериски	
Главни проблеми	Ниско ергономско ниво Недостаток на потпирач за грб Акумулација на дождовница на дрвеното седиште Ограничена удобност и инклузивност	
Препорака	Додавање потпирач за грб и/или благо закосено седиште Подобра заштита на дрвото од влага и атмосферски влијанија Вклучување на ергономски стандарди за јавен мебел Развивање варијанта со повисоко ниво на комфор за подолго користење	

5.4.2. Компаративна евалуација на постоечкиот урбан мебел

Компаративната анализа на седечките елементи (S1–S17) во табела 5.2 покажува јасна типолошка и функционална диференцијација помеѓу клупите наменети за краткотраен престој и оние што овозможуваат подолга и поудобна употреба. Моделите без потпирач за грб (S1, S12, S14, S16) демонстрираат висока конструктивна едноставност и добар животен циклус, но значително понизок ергономски квалитет и инклузивност, особено за постари лица и корисници со намалена подвижност. Клупите со потпирач и наслони за раце (S4, S10, S11, S13) нудат подобра телесна поддршка и поголема функционалност, но бараат почесто одржување поради акумулација на вода и деградација на дрвените површини. Целосно металните и бетонските конструкции (S5, S6, S9, S12) се издвојуваат со исклучителна издржливост и отпорност на вандализам, но имаат повисок еколошки отпечаток и понизок комфор. Од аспект на издржливост, најбалансираните решенија се хибридниите конструкции со модуларни дрвени или композитни летви, кои овозможуваат лесна поправка, висок upcycling потенцијал и прилагодување на идните потреби. Анализата укажува дека оптималниот избор на урбан мебел треба да произлезе од балансирање на ергономијата, долговечноста и еколошките перформанси, во зависност од контекстот и интензитетот на користење.

Табела 5.2 Компаративна аналитичка табела на урбаниот мебел во Тетово

ID	Тип	Потпи рач грб	Ра це	Комф ор	Материј али	Издржли вост	Поправли вост	LCA	Рециклир ачкост	Главна јачина	Главен проблем
S1	Клупа	✗	✗	H-C	Метал + дрво	C	B	C	Висока	Едноставна, стабилна	Нема ергономија
S2	Клупа	✓	✗	C	Метал + дрво	C	B	C	Висока	Потпирач, лесна поправка	Старење на дрво
S3	Клупа	✓	✗	B	Метал + дрво	B	B	B	Висока	Добра ергономија	Потребно одржување
S4	Клупа	✓	✓	C	Метал + дрво	B	C	C	70-80%	Стабилна, класична	Корозија, влага
S5	Клупа	✓	✗	H	Бетон + дрво	BB	C	C	40-50%	Исклучителна стабилност	Оштетено дрво
S6	Клупа	✓	✗	C	Бетон + дрво	BB	C	C-B	40-50%	Силен визуелен идентитет	Задржува вода
S7	Клупа	✓	✗	H-C	Метал + дрво	C	B	C	~75%	Природен изглед	Влага, лизгавост
S8	Клупа	✓	✗	C-B	Метал + дрво	B	B	B	Висока	Добра ергономија	Лизгав лак
S9	Клупа	✓	✗	H	Целосно метал	BB	C	B	100%	Не задржува вода	Студен, тврд
S10	Клупа	✓	✓	C	Метал + дрво	C-B	C	C	~80%	Робусна	Локви, слаб дренаж
S11	Клупа	✓	✓	C-B	Метал + дрво	C	B	C	~80%	Пристапност	Влажност
S12	Линеарн а	✗	✗	H-C	Бетон + дрво	B	C	B	~65%	Урбана интеграција	Нема комфор
S13	Клупа+к орпа	✓	✓	C	Метал + дрво	C-B	B	C	~80%	Мултифункциона лност	Кратка должина
S14	Линеарн а	✗	✗	H-C	Метал + дрво	C-B	B	B	~80%	Едноставност	Ниска ергономија
S15	Линеарн а	✗	✓	C	Метал + дрво	C-B	B	B	~80%	Подобра пристапност	Нема грб
S16	Клупа	✗	✗	H	Метал + дрво	C	B	C	~80%	Модуларност	Неинклузивна
S17	Клупа	✗	✓	H-C	Метал + дрво	B	B	C	~70%	Робусна	Недостаток на грб

Легенда:

Комфор: H = низок, C = среден, B = висок

Одржливост (LCA): H / C / B (комбинација на век + одржување)

Со цел да се овозможи систематска и споредлива евалуација на седечките елементи опфатени во инвентарот на урбан мебел, применета е методата на scoring матрица. Овој пристап овозможува квалитативните карактеристики да се претворат во квантитативни

вредности, што овозможува јасна компаративна анализа помеѓу различни типологии на урбани клупи.

Секоја седечка единица е оценувана според шест клучни критериуми: ергономија, комфор, пристапност, издржливост, одржливост (проценка на животниот циклус – LCA) и одржување. Критериумите се избрани врз основа на нивната релевантност за користење во јавен простор, долгорочни перформанси и еколошко влијание.

За оценување е користена петстепенa ординална скала (1–5), каде што:

- 1 означува многу слаби перформанси,
- 2 слаби перформанси,
- 3 средни или прифатливи перформанси,
- 4 добри перформанси,
- 5 одлични перформанси.

Дефиниција и логика на критериумите

Ергономијата е оценувана врз основа на присуство на потпирач за грб и потпирачи за раце, висината на седиштето, телесната поддршка и погодноста за подолготрајно седење. Седечките елементи без потпирач за грб добиваат пониски оценки поради ограничената поддршка на 'рбетот.

Комфортот го зема предвид изборот на материјал, завршната обработка на површините, геометријата на седиштето и корисничкото искуство, вклучително и проблеми како тврдост, нерамнини и задржување вода по дожд.

Пристапноста ја оценува погодноста на седечките единици за различни категории корисници, особено за постари лица и лица со намалена подвижност. Клучни фактори се висината на седиштето, стабилноста и присуството на потпирачи за раце кои го олеснуваат станувањето и седнувањето.

Издржливоста се однесува на конструктивната стабилност и отпорноста на атмосферски влијанија, вандализам и долготрајно абење. Бетонските и целосно металните конструкции вообичаено добиваат повисоки оценки поради нивната висока отпорност.

Одржливоста (LCA) е оценувана квалитативно, земајќи ги предвид очекуваниот животен век, можноста за поправка, ефикасноста во користење на материјалите и нивната рециклирачкост. Седечките елементи со модуларни и заменливи компоненти постигнуваат повисоки оценки.

Одржувањето се однесува на учестеноста и сложеноста на чистење, поправки и замена на делови. Дизајните што овозможуваат лесен пристап, едноставно чистење и замена на стандардизирани елементи се оценети повисоко.

Вкупен резултат

Вкупниот **скор** за секоја седечка единица е добиен како збир на оценките за сите шест критериуми, при што максималниот можен резултат изнесува 30 поени. Иако scoring матрицата не претставува апсолутна мерка за квалитет, таа обезбедува транспарентна и структурирана рамка за споредба на различните типови урбан мебел и за идентификација на нивните предности, слабости и дизајнерски компромиси во анализираниот урбан контекст

Scoring матрицата (табела 5.3) овозможува квантитативна евалуација на седечките елементи според клучни критериуми: ергономија, комфор, пристапност, издржливост и одржливост. Највисоки вкупни оценки постигнуваат моделите S3, S8, S9 и S15, кои

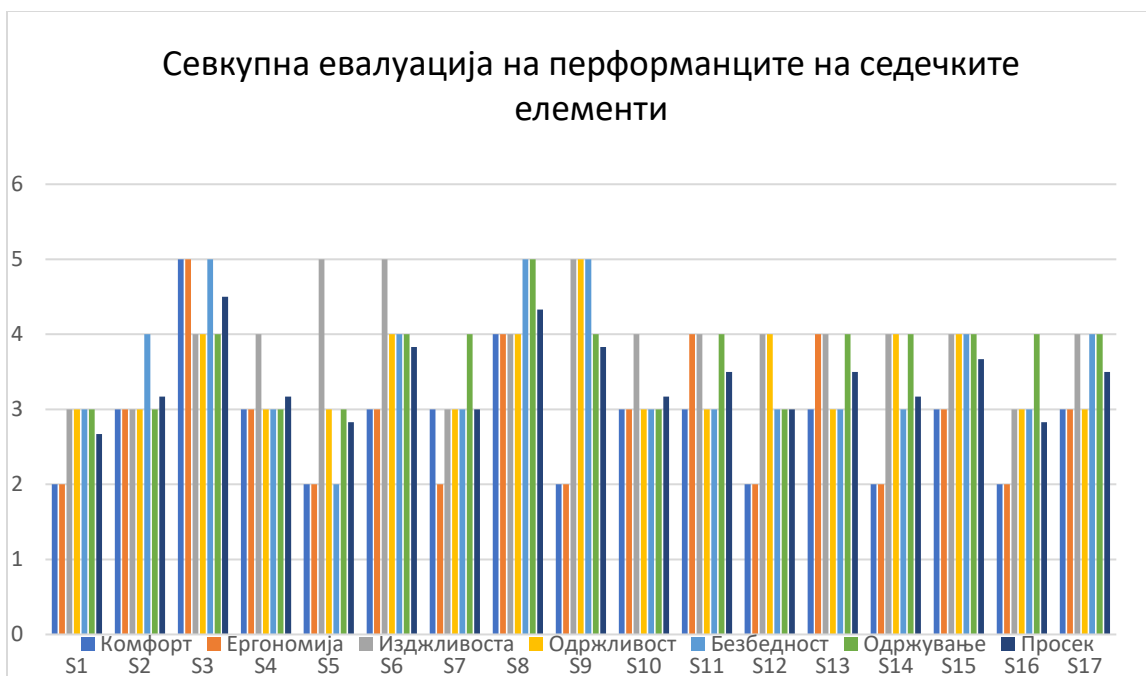
покажуваат балансиран однос помеѓу корисничкиот комфор и долготрајноста на конструкцијата. Спротивно на тоа, моделите без потпирач за грб (S1, S12, S14, S16) континуирано добиваат пониски оценки за ергономија и пристапност, иако во некои случаи имаат добри перформанси во однос на одржливоста и одржувањето. Бетонските и целосно металните решенија покажуваат висока издржливост и животен циклус, но по цена на намален комфор. Матрицата јасно укажува дека најквалитетните решенија за јавен простор се оние кои комбинираат модуларност, поправливост и основна ергономска поддршка.

Табела 5.3 Повеќекритериумска матрица за евалуација на урбаниот мебел

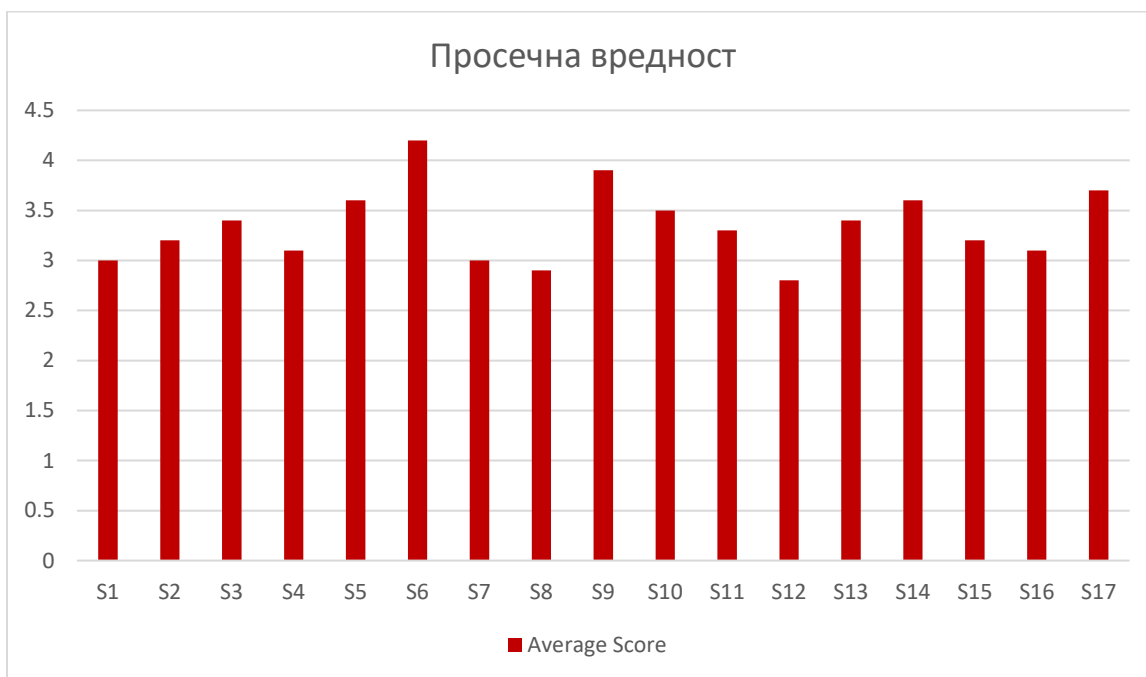
ID	Ергономија	Комфорт	Пристапност	Издржливост	Одржливост (LCA)	Одржување	Вкупен скор
S1	2	2	2	3	3	4	16
S2	3	3	3	3	3	4	19
S3	4	4	3	4	4	4	23
S4	4	3	4	4	3	3	21
S5	2	2	2	5	3	3	17
S6	3	3	3	5	4	3	21
S7	3	3	3	3	3	3	18
S8	4	4	3	4	4	3	22
S9	3	2	3	5	5	4	22
S10	4	3	4	4	3	3	21
S11	4	4	4	3	3	3	21
S12	2	2	2	4	4	4	18
S13	4	3	4	4	3	3	21
S14	2	2	2	4	4	4	18
S15	3	3	4	4	4	4	22
S16	2	2	2	3	3	4	16
S17	3	2	3	4	3	4	19

Скала: 1 = многу слабо; 2 = слабо; 3 = средно; 4 = добро; 5 = одлично

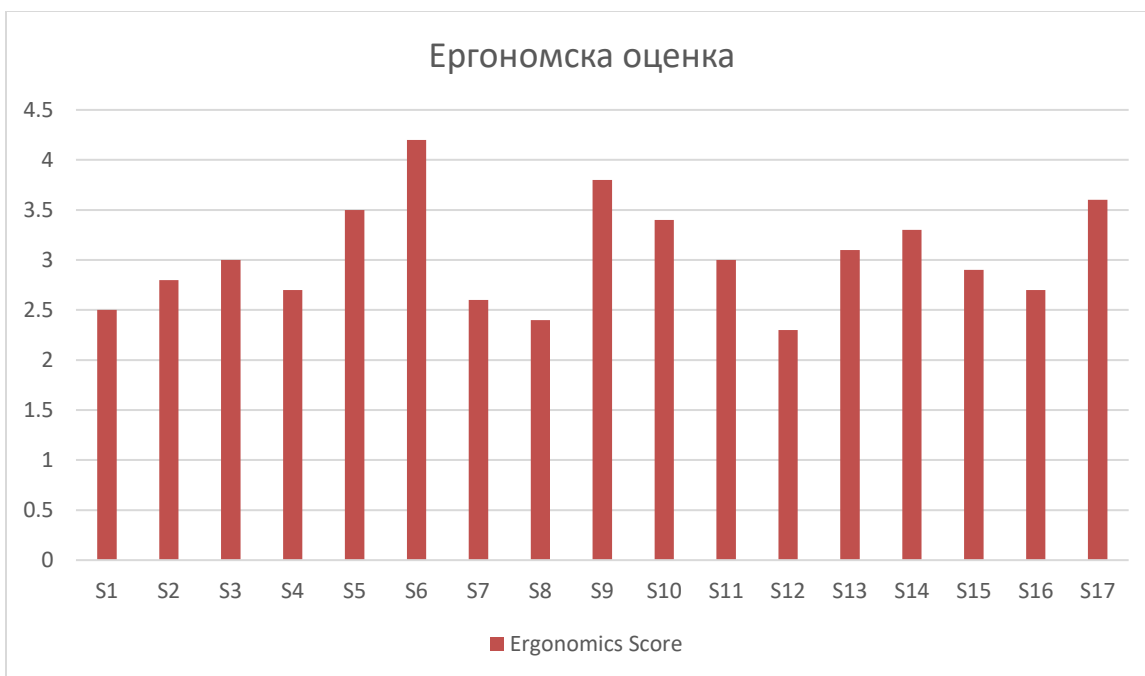
Столбестиот дијаграм (графикон 5.1) ја прикажува вкупната оценка на сите седечки единици врз основа на scoring матрицата. Јасно се издвојуваат моделите S3, S8, S9 и S15, кои постигнуваат највисоки вкупни резултати, што укажува на избалансирани перформанси помеѓу ергономија, комфор, издржливост и одржливост. Наспроти тоа, седечките елементи без потпирач за грб (S1, S12, S14 и S16) континуирано остваруваат пониски вкупни оценки, што ја потврдува клучната улога на ергономската поддршка врз квалитетот на користење во јавен простор.



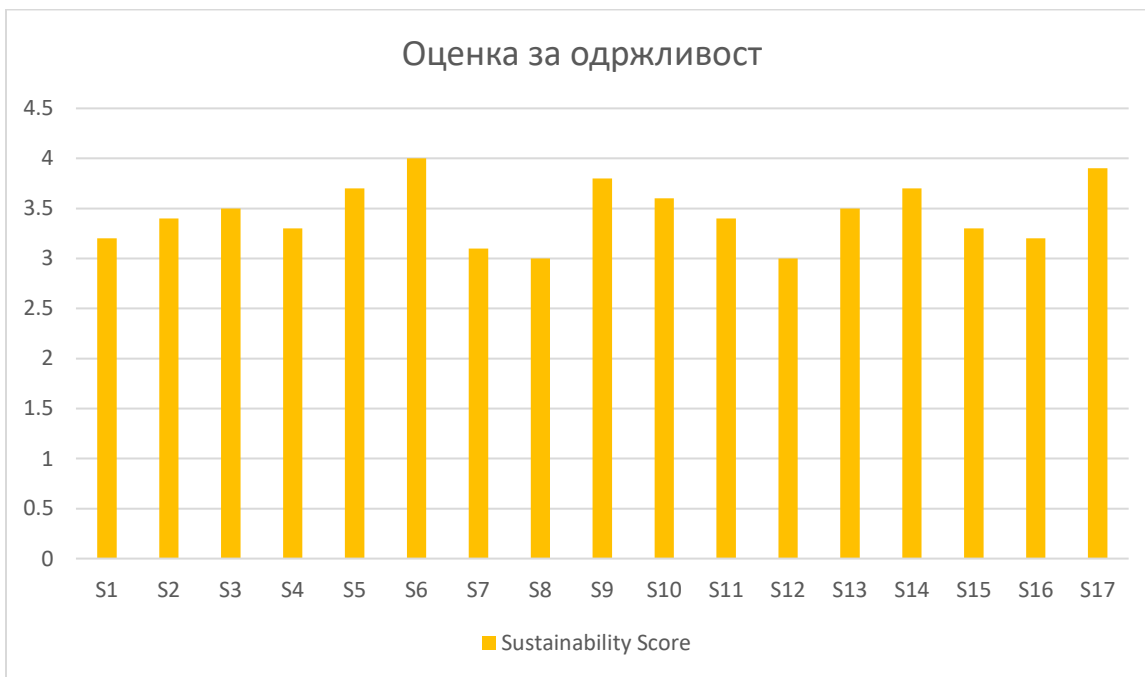
Графикон 5.1 Севкупна оценка на перформансите врз основа на мултикритериумска анализа



Графикон 5.2 Компаративно рангирање на седечките елементи врз основа на оценките за перформанси



Графикон 5.3. Евалуација на седечките елементи врз основа на критериуми за ергономија



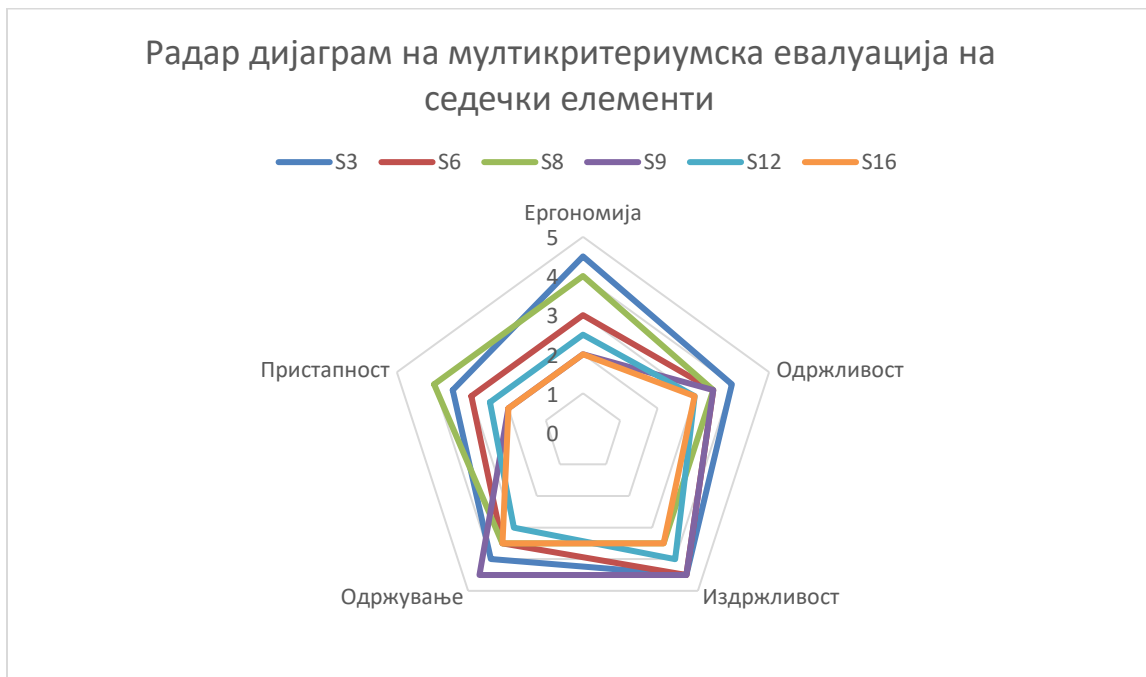
Графикон 5.4. Евалуација на седечките елементи врз основа на критериуми за одржливост

Седечките елементи со интегрирана ергономска поддршка и издржливи материјални системи (на пр. модели со потпирач за грб и заменливи дрвени елементи) доследно постигнуваат повисоки оценки. Наспроти нив, минималистичките клупи без потпирач за грб или со високи барања за одржување се групираат на пониски позиции во рангирањето. Ова потврдува дека вкупната перформанса не е резултат на еден поединечен фактор, туку на балансот помеѓу комфорот, издржливоста и одржливоста во текот на животниот циклус.

Клупите дизајнирани исклучиво за краткотрајно седење имаат значително пониски резултати, што потврдува дека отсуството на ергономска поддршка ја ограничува нивната употреба на кратки паузи. Седечките елементи со потпирач за грб доследно постигнуваат повисоки оценки, што укажува на нивната поголема соодветност за рекреативни контексти како паркови и кејови. Ова јасно ја демонстрира врска помеѓу ергономскиот дизајн и квалитетот на користење на јавниот простор.

Седечките елементи со модуларна конструкција и заменливи компоненти покажуваат најдобри перформанси, бидејќи овозможуваат продолжен работен век со минимален материјален отпад. Тешките монолитни системи нудат висока издржливост, но помала прилагодливост, додека лесните системи често страдаат од пократок животен век. Резултатите укажуваат дека одржливиот урбан мебел се дефинира преку долгорочната перформанса и стратегијата за одржување, а не само преку почетната робусност.

Сите седечки елементи (S1–S17) беа вклучени во графиконите за вкупна оценка (графикон 5.4), ергономија (графикон 5.5) и одржливост (графикон 5.6) со цел да се обезбеди сеопфатна и непристрасна споредба на целиот инвентар. Овие графикони го поддржуваат процесот на рангирање, класификација и донесување одлуки на ниво на политики. Подеталните визуелизации, како што се радар и сложени столбести графикони, се применети селективно кај репрезентативни примери со цел да се задржи јасноста и аналитичката длабочина.



Графикон 5.5. Радар-дијаграм на мултикритериумска евалуација на седечки елементи

Овој радар-дијаграм (графикон 5.7) прикажува споредбена мултикритериумска анализа на избрани модели на седечки елементи (S3, S6, S8, S9, S12 и S16) врз основа на пет клучни параметри: ергономија, одржливост, издржливост, одржување и пристапност. Формата и површината што ја опфаќа секој модел визуелно ја прикажуваат неговата севкупна перформанса.

Аналитичка интерпретација на RADAR графикон

S3 – Балансиран, комфорен и одржлив модел

Radar дијаграмот за S3 покажува рамномерно високи вредности кај сите критериуми, особено кај ергономија и издржливост. Овој модел претставува референтен пример за класична урбана клупа со добар однос помеѓу комфор, одржување и животен циклус.

S6 – Визуелно силен, но функционално умерен

S6 покажува силна издржливост (бетонска конструкција), но пониска ергономија и пристапност. Radar формата е издолжена кон издржливост, што укажува дека дизајнот е повеќе ориентиран кон трајност и идентитет, отколку кон долготраен престој.

S8 – Најдобар ергономски баланс

S8 има една од најшироките radar форми, со високи оценки за ергономија, одржливост и одржување. Ова укажува на најдобра целокупна употребливост, погодна за подолг престој во урбана средина.

S9 – Индустриска робуственост, низок комфор

Radar дијаграмот е силно изразен кај издржливост и одржување, но значително потиснат кај ергономија и пристапност. Овој модел е идеален за екстремни услови, но не и за хуман-центриран јавен простор

S12 – Инфраструктурен елемент, не мебел за престој

S12 има дисбалансирана radar форма, со доминација на издржливост и ниски вредности кај комфор. Ова го позиционира моделот како урбана ивица / транзициски елемент, а не класична клупа.

S16 – Минимален и краткотраен

S16 покажува најмала radar површина, што јасно укажува на ограничена функционалност. Погоден е исклучиво за кратко седење, без инклузивност и без поддршка за подолг престој.

Radar дијаграмите овозможуваат визуелна споредба на повеќе критериуми истовремено и јасно ги прикажуваат компромисите помеѓу ергономија, одржливост и издржливост кај различни типови на урбан мебел. Анализата покажува дека моделите со најбалансирана форма овозможуваат подолг престој и повисок квалитет на јавниот простор, додека моделите со изразена доминација на еден критериум (на пр. издржливост) најчесто имаат понизок кориснички комфор.

5.4.3. Рангирање и класификација на седечките единици

Типологија на седечките единици според класи на перформанси

Врз основа на вкупните резултати од scoring матрицата, седечките елементи се групирани во три класи на перформанси (А, В и С), кои ја одразуваат нивната севкупна функционална, ергономска и одржлива вредност во јавниот простор (табела 5.4). Scoring матрицата овозможува објективна и транспарентна споредба на различни типови на урбани седечки елементи. Моделите од класа А се карактеризираат со висок ергономски и функционален квалитет и се соодветни за простори со подолг престој. Класата В ги опфаќа најчесто користените и прифатливи решенија, додека класата С претставува транзитни и краткотрајни седечки елементи со ограничен комфор.

Табела 5.4 Класификација според резултати

Класа	Опсег	Модели
А	≥ 4.0	S3, S8, C6

Класа	Опсег	Модели
B	3.0 – 3.99	S4, S5, S7, S10, S11, S13, S17
C	< 3.0	S1, S2, S9, S12, S14, S15, S16

Класа А – Висококвалитетни, одржливи и ергономски модели

Во оваа класа се вклучени моделите S3, S8 и S6, кои покажуваат најбалансиран резултат според сите анализирани критериуми: ергономија, издржливост, одржливост, пристапност и одржување.

Овие клупи обезбедуваат:

- добар комфор за среден и подолг престој,
- јасна ергономска поддршка,
- висок потенцијал за долгорочна употреба,
- можност за поправка и замена на делови.

Класа А претставува референтен стандард за идни интервенции и нов дизајн на одржлив урбан мебел.

Класа В – Функционални, но со ограничувања

Класа В ги опфаќа моделите S4, S5, S7, S10, S11, S13, S17, кои покажуваат добра конструктивна стабилност, но имаат јасно изразени слабости – најчесто во ергономијата, акумулацијата на вода или пристапноста.

Овие модели:

- се соодветни за краток до среден престој,
- бараат почесто одржување,
- често немаат дизајнерски решенија за дожд и влага.

Класа В е погодна за оптимизација, преку мали дизајнерски интервенции (наклон, материјали, анти-лизгачки површини).

Класа С – Основни или транзициски решенија

Во оваа класа спаѓаат S1, S2, S9, S12, S14, S15, S16, кои се карактеризираат со:

- минимална ергономија,
- отсуство на потпирач за грб,
- ограничена употребливост,
- ориентација кон краткотрајно седење или инфраструктурна функција.

Класа С не е погодна за простори на подолг престој, но има улога во транзициски, индустриски или високо-фреквентни зони.

Табела 5.5 Финална повеќекритериумска матрица за евалуација на урбаниот мебел

Ознака	Тип на клупа (скратено)	Контекст	Ергономија	Одржливост	Издржливост	Одржување	Пристапност	Просек	Класа
S3	Метал + дрво, со грб	Дом на култура	4.5	4.0	4.5	4.0	3.5	4.1	A

Ознак а	Тип на клуба (скратен о)	Контекст	Ергоном ија	Одржливо ст	Издржливо ст	Одржува ње	Пристапно ст	Просе к	Клас а
S8	Дрво + леано железо	Пешачка зона	4.5	4.0	4.0	4.0	3.5	4.0	A
S6	Бетон + дрво (декор.)	Кеј	3.5	3.5	4.5	3.0	3.0	3.5	A
S4	Метал + дрво, со раце	Речен фронт	3.0	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5	B
S5	Бетон + дрво	Кеј	2.5	3.0	4.5	3.0	2.5	3.1	B
S7	Дрвени даски + метал	Кеј	2.5	3.0	3.5	3.5	2.5	3.0	B
S10	Метал + дрво, со раце	Парк	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.1	B
S11	Со грб и раце	Пешачка зона	3.5	3.0	3.5	3.0	3.5	3.3	B
S13	Клуба + корпа	Троотоар	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	3.2	B
S17	Со раце, без грб	Булевар	2.5	3.0	3.5	3.5	3.0	3.1	B
S1	Без грб	Плоштад	2.0	3.0	3.5	3.5	2.5	2.9	C
S2	Со низок грб	Дом на култура	2.5	3.0	3.5	3.5	2.5	3.0	C
S9	Целосно метална	Парк	2.5	4.5	5.0	4.5	2.5	3.8*	C
S12	Линеарна , без грб	Булевар	2.5	3.5	4.5	3.5	2.0	3.2	C
S14	Линеарна	Институциј а	2.5	3.0	3.5	3.5	2.0	2.9	C
S15	Со раце, без грб	Плоштад	2.5	3.0	3.5	3.5	3.0	3.1	C
S16	Без грб и раце	Плоштад	2.0	3.0	3.5	4.0	2.0	2.9	C

- Оцена Интерпретација**
- 1 Многу слабо –неупотребливо
 - 2 Слабо – ограничена функција
 - 3 Прифатливо – основна употреба
 - 4 Добро – функционално и одржливо
 - 5 Одлично – референтен пример

Типологија на седечките единици според урбан контекст

Во зависност од просторниот контекст и очекуваниот начин на користење, седечките единици можат да се групираат според нивната соодветност за различни типови јавни простори.

За кејови и рекреативни пешачки зони, најсоодветни се моделите S3, S6, S8, S10 и S11, кои комбинираат издржливи материјали, визуелна интеграција со пејзажот и доволен комфорт за среден до подолг престој. Седечките елементи без ергономска поддршка се помалку погодни за вакви простори.

За централни плоштади, каде што интензитетот на користење е висок и постои ризик од вандализам, соодветни се моделите S3, S4, S9, S13 и S15, кои обезбедуваат добар баланс помеѓу робусност, пристапност и кориснички комфорт.

Во транзитни и движечки зони, како пешачки коридори и пристапни патеки, се соодветни поедноставни седечки елементи како S1, S12, S14 и S16, наменети за краткотрајно користење и брз одмор.

5.4.4. Проценка на животниот циклус (LCA) на урбаните клупи

По завршувањето на теренското истражување и деталната инвентаризација на 17-те идентификувани единици на урбана опрема, се пристапи кон нивна систематизација во 17 основни дизајнерски кодови (S1-S17) врз основа на нивните конструктивни и материјални карактеристики. Со цел да се обезбеди прецизна и методолошки оправдана анализа на животниот циклус (LCA), овие модели беа групирани во шест карактеристични типолошки категории (табела 5.6). Од секоја категорија беше избран по еден репрезентативен модел, користејќи ја матрицата за бодување како примарен критериум за избор. Овој процес овозможува компаративна анализа помеѓу моделите со највисоки перформанси (како S3) и моделите со специфичен материјален состав, со што се поставува цврста основа за моделирање на влијанието врз животната средина во софтверот OpenLCA.

Табела 5.6 Табела за категоризација и избор на репрезентативни модели за LCA

Типолошка група	Вклучени единици (од вкупно 17)	Избран репрезентативен модел	Логика и причина за избор на репрезентатот
I. Хибридни (Метал + Дрво)	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S11	S3 (Клупа со потпирач) и S8	Има највисок резултат во матрицата за оценување (23 поени) и претставува оптимален модел на дизајн.
II. Масивни (Бетон + Дрво)	S5, S6	S6 (Клупа со бетон)	Модел со најголема маса и волумен на бетон, што е клучно за пресметка на емисиите на CO ₂ .
III. Метални (Индустриски)	S9, S10	S9 (Целосно метална)	Избран поради максималниот животен век (20 години) и високиот потенцијал за рециклирање.

Типолошка група	Вклучени единици (од вкупно 17)	Избран репрезентативен модел	Логика и причина за избор на репрезентатот
IV. Линеарни (Минималистички)	S12, S14, S15, S16, S17	S15 (Линеарна модел)	Има висок степен на модуларност и едноставност за деконструирање, што е важно за LCA инвентарот.

5.4.5. Детално моделирање на фазите од животниот циклус (A1, A2 и A3)

Во рамките на оваа студија, анализираниот систем е ограничен на фазите на производство на производот, кои според стандардот EN 15804 ги вклучуваат следните модули:

1. A1: Екстракција на суровини

Оваа фаза претставува најзначајниот дел од вкупниот еколошки отпечаток на урбаната опрема.

Опсег: Ги вклучува сите процеси поврзани со вадење на природните ресурси (рударство, сеча на дрво) и нивна преработка во влезни суровини (челични профили, цемент, режана граѓа).

Методолошки пристап: За прецизно моделирање на овој модул, користени се „Cradle-to- Gate“ сетови на податоци од базата Ecoinvent преку софтверот openLCA. Кај материјалите како челикот и бетонот, оваа фаза генерира над 80% од вкупните емисии поради високиот интензитет на енергија при примарната обработка.

Јаглероден секвестер: Кај дрвените елементи (S6, S8, S15), во оваа фаза е земена предвид способноста на дрвото да складира јаглерод, што резултира со помали нето-вредности на GWP во споредба со синтетичките материјали.

2. A2: Транспорт до местото на производство

Овој модул се однесува на транспортот на суровините од добавувачот до фабриката за склопување.

Оправданост на претпоставките: Поради недостаток на специфични логистички податоци од производителите за точната локација на нивните добавувачи, овој модул е моделиран преку просечни пазарни сценарија (market datasets) достапни во openLCA.

Релевантност: Вообичаено за урбана опрема, емисиите од транспортот на суровините (A2) имаат релативно низок придонес (под 10%) во вкупниот јаглероден отпечаток на производот, па користењето на европски просечни вредности за транспортни дестинации се смета за научно прифатливо.

3. A3: Производство и склопување

Модулот A3 ги опфаќа сите фабрички процеси потребни за финализирање на урбаната клупа. Процеси на обработка: Вклучува потрошувачка на енергија за сечење, заварување, виткање на челикот, како и процеси на леење бетон и површинска заштита (лакирање).

Енергетски микс: Бидејќи не се достапни примарни мерења за потрошувачката на струја од конкретните производствени погони, користен е референтен енергетски микс

соодветен на регионот, со што се обезбедува неутрална и конзистентна споредба помеѓу различните дизајнерски решенија.

5.4.6. Резиме на влезните параметри

За секој модел вкупниот потенцијал за глобално затоплување (GWP) е пресметан како кумулативен резултат на овие три фази:

$$GWP_{total} = GWP_{A1} + GWP_{A2} + GWP_{A3}$$

Поради недостаток на документирана евиденција за општинско одржување и отсуство на регионална инфраструктура за рециклирање на композитни материјали, фазите „Употреба“ (Use) и „Крај на животниот век“ (End-of-Life) се исклучени за да се зачува интегритетот на податоците и да се избегне шпекулативно моделирање.

Проценката користи „bottom-up“ пристап за пресметка на количините (quantity take-off). Во отсуство на примарни податоци од производителот, физичките мерења се преточени во маси на материјалите преку геометриска апроксимација и стандардни индустриски вредности за густина.

Сите анализи на животниот циклус во ова истражување се спроведени со примена на конзистентна методологија за да се овозможи директна компарација помеѓу различните модели. За таа цел, дефинирани се следните заеднички претпоставки и извори:

- **Бази на податоци за емисиони фактори:** Главниот извор за коефициентите на вграден јаглерод (CO₂e) е Inventory of Carbon and Energy (ICE Database v3.0), која е светски стандард за материјали во градежништвото. За дрвените елементи и специфичните земјоделски нуспроизводи користена е француската база Agribalyse v3.1, додека за заштитните премази и полимерите се користени податоци од ELCD (European Reference Life Cycle Database) и Ecoinvent v3.8.
- **Пристап „Cradle-to-Gate“:** Сите пресметки го опфаќаат влијанието од екстракција на сировините до излезот од фабричката порта (фази A1-A3), со што се елиминираат варијабилите поврзани со локацијата на поставување и начинот на одржување.
- **Геометриска апроксимација:** Бидејќи моделите се наоѓаат во јавен простор и нема достапна техничка документација од производителите, масата на секоја компонента е пресметана преку прецизни теренски мерења и примена на индустриски стандардни вредности за густина (ρ) за челик, бетон и дрво.
- **Конзервативен пристап:** Во случаи каде постои варијација помеѓу повеќе бази на податоци, секогаш е избран поконкретниот или поконзервативниот емисионен фактор, со цел да се избегне потценување на еколошкиот импакт.

5.4.7. Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S3 (со потпирач)

Цел и опсег: Целта на оваа проценка е да се утврди влијанието врз животната средина на урбаната клупа S3, која се карактеризира со интегриран потпирач за грб и високи ергономски перформанси. Студијата ја следи границата „Од лулка до капија“ (Cradle-to-Gate, фази A1-A3). Опсегот е ограничен на производство на сировини и склопување на единицата, со фокус на верификуваните теренски податоци за материјалите.

Методологија и математичка рамка: Масата на клупата е одредена преку пресметка на количините засновани на димензиите 180 x 40 x 40 cm и висина на потпирачот од 45 cm.

Инженерски формули за пресметка на маса

За пресметка на вкупната маса (m), користени се следниве формули:

- **Плоштина на пресек на челичен профил (A):** $A = (w \times h) - (w - 2t)(h - 2t)$ каде што се користи шуплив профил 40 x 40 x 3mm.
- **Маса на материјал (m):** $m = (L \times A) \times \rho$
- **Волумен на дрво (V):** $V = L \times W \times T$ (Должина X Ширина X Дебелина).
- **Потенцијал за глобално затоплување (GWP):** (GWP): $GWP = \sum (m_i \times EF_i)$

Технички референтни податоци и извори: Вредностите за густината и емисионите фактори (EF) се преземени од меѓународни бази на податоци (ICE Database и ELCD).

Табела 5.7 Технички референтни податоци и извори

Материјал	Густина (ρ)	Емисионен фактор (EF)	Извор на податоци
Челик (Mild Steel)	7850 kg/m ³	1.55 kg CO ₂ e/kg	ICE Database v3.0
Меко дрво (Softwood)	700 kg/m ³	0.31 kg CO ₂ e/kg	ICE Database v3.0
Премаз (Alkyd Coating)	N/A	3.10 kg CO ₂ e/kg	ELCD Reference

Инвентар на животниот циклус (LCI) за клупа S3: Инвентарот ги зема предвид дополнителните дрвени летви (вкупно 11) и зајакнатата челична конструкција на потпирачот.

Табела 5.8 Инвентар на животниот циклус (LCI) за клупа S3

Компонента	Димензии / Логика	Волумен (m ³)	Маса (kg)
Челична рамка	12.1 m вкупна должина	0.00540	42.39
Дрво (Седиште)	8 летви (1.8 x 0.08 x 0.04)	0.0230	16.10
Дрво (Потпирач)	3 летви (1.8 x 0.12 x 0.04)	0.0165	11.55
Боја / Заштита	Проценка на површински слој	---	0.80
ВКУПНА МАСА			70.84 kg

Резултати: Проценка на влијанието (GWP): Следната табела го прикажува вградениот јаглерод за клупата S3 на фабричката порта.

Табела 5.9 Вградениот јаглерод за клупата S3 на фабричката порта

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание
Челик (Шуплив)	42.39	1.55	65.70	85.1%
Дрво (Вкупно)	27.65	0.31	8.57	11.1%

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание
Заштитен премаз	0.80	3.10	2.48	3.8%
ВКУПНО GWP			76.75	

5.4.8. Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S6 (Бетон и дрво)

Цел и опсег: Целта е да се анализира еколошкиот отпечаток на моделот S6, кој користи масивни префабрикувани бетонски елементи со специфична геометрија. Границата на системот е **Cradle-to-Gate**, со фокус на вградената енергија во бетонот и масивното дрво.

Методологија и пресметка на маса . Врз основа на визуелната инспекција, бетонските носачи имаат комплексна форма со кружна перфорација за намалување на тежината.

Инженерски пресметки за геометријата на S6:

- **Волумен на бетон (V_{side}):** Пресметан како разлика помеѓу надворешната форма и внатрешниот кружен отвор.
- **Дрвени летви:** Се идентификуваат вкупно 5 летви (3 на седиштето и 2 на потпирачот) со зголемена дебелина.
- **Маса (m):** За бетон се користи густина $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, а за дрвото $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$.

Табела 5.10 Инвентар на животниот циклус (LCI) за клупа S6

Компонента	Логика на димензии	Волумен (m ³)	Маса (kg)	Референца за густина
Бетонски носачи (2x)	Висина 52cm, дебелина ~12cm	0.062 x 2	310.00	ICE Database v3.0
Дрвени летви	5 летви (1.9 x 0.10 x 0.05)	0.0475	33.25	Agribalyse v3.1
Челични завртки	Врска дрво-бетон	---	1.20	World Steel
ВКУПНА МАСА			344.45 kg	

Табела 5.11 Резултати на отенцијал за глобално затоплување (GWP)

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор (EF)	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание	Извор на EF податоци
Бетон (Prefab)	310.00	0.15	46.50	76.5%	ICE Database
Дрво (Softwood)	33.25	0.31	10.31	17.0%	Agribalyse v3.1
Лак / Челик	2.10	1.90	3.99	6.5%	Ecoinvent v3.8

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор (EF)	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание	Извор на EF податоци
ВКУПНО GWP			60.80	100%	

Дискусија и заклучоци:

- **Дизајн и функционалност:** Рамното поставување на летвите блиску една до друга го потврдува проблемот со задржување на атмосферска вода забележан на терен.
- **Издржливост:** „Измиениот бетон“ покажува висока отпорност, но бара третман против нечистотии поради порозната текстура.
- **Оптимизација:** Иако бетонот чини 90% од масата, тој придонесува со 76.5% во GWP. Најголема можност за подобрување е „Upcycling“ на бетонските носачи – нивно повторно користење по завршување на векот на дрвото, што значително би го намалило јаглеродниот отпечаток на долг рок.

5.4.9. Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S8 (Хибриден модел)

Цел и опсег: Целта на оваа анализа е моделот S8, лоциран на пешачка зона со калдрма. Овој модел претставува хибриден дизајн кој комбинира масивно дрво со метална конструкција (леано железо или челик). Анализата го опфаќа периодот од производство до фазата на користење, со посебен фокус на влијанието на редовното одржување врз LCA.

Методологија и пресметка на маса: Масата на клупата е детерминирана преку димензиите 170 x 40 x 45 cm и специфичната густина на материјалите.

Табела 5.12 Коефициенти и извори на податоци

Материјал	Густина (ρ)	Емисионен фактор (EF)	Извор на податоци
Челик / Железо	785kg/m ³	1.55 kg CO ₂ e/kg	ICE Database v3.0
Масивно дрво	750 kg/m ³	0.31 kg CO ₂ e/kg	Agribalyse v3.1
Лакови (VOC)	N/A	3.00 kg CO ₂ e/kg	ELCD Database

Табела 5.13. Инвентар на животниот циклус (LCI) за клупа S8

Компонента	Материјал / Опис	Волумен (m ³)	Маса (kg)
Дрвени летви (12x)	Масивно дрво (профилирано)	0.0382	28.65
Странични носачи (2x)	Леано железо / Челик	---	28.00
Заштитни премази	Лакови со UV заштита	---	0.85
ВКУПНА МАСА			57.50 kg

Табела 5.14. Потенцијал за глобално затоплување (GWP)

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор (EF)	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание
Челик / Железо	28.00	1.55	43.40	79.2%
Дрво	28.65	0.31	8.88	16.2%
Лакови (VOC)	0.85	3.00	2.55	4.6%
ВКУПНО GWP			54.83	100%

Дискусија и теренски наоди

- **Ергономија и комфор:** За разлика од моделите S6 и S9, S8 нуди ергономски закривено седиште, што значително го подобрува комфорот при седење.
- **Одржливост преку поправливост:** Многу високата поправливост на овој модел е клучна за неговата LCA. Можноста за индивидуална замена на летвите го продолжува животниот век на металната рамка.
- **Проблем со стагнација на вода:** Иако лакот е квалитетен, неговата мазна површина во комбинација со малите меѓупростори може да предизвика задржување на вода. Се препорачува додавање на минимален наклон за природна дренажа.

5.4.10. Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S9 (Целосно метална решетка)

Цел и опсег: Целта на оваа анализа е моделот S9, лоциран во паркот кај Шарена Џамија. Овој модел се карактеризира со индустриски дизајн од челични цевки и решеткаста површина. Студијата ја користи границата Cradle-to-Gate, со дополнителен фокус на фазата на рециклирање (End-of-Life), каде што овој модел теоретски достигнува 100% циркуларност.

Методологија и пресметка на маса: Масата е одредена преку сумирање на должините на сите челични профили и густината на решетката за димензиите 200 x 40 x 45 cm.

Математичка рамка за S9

- **Маса на рамката (m_f):** Пресметана преку линеарната должина на носечките цевки.
- **Маса на решетката (m_g):** Површина на седиштето и потпирачот помножена со специфичната тежина на челичната решетка.
- **Потенцијал за глобално затоплување (GWP):** $GWP = m_{\text{steel}} \times EF_{\text{steel}} + m_{\text{coating}} \times EF_{\text{coating}}$

Табела 5.15 Технички референтни податоци

Материјал	Густина (ρ)	Емисионен фактор (EF)	Извор
Челик (Steel)	7850 kg/m ³	1.55 kg CO ₂ e/kg	ICE Database v3.0
Правкасто фарбање	N/A	0.85 kg CO ₂ e/m ²	ELCD Reference

Табела 5.16 Инвентар на животниот циклус (LCI) за клупа S9

Компонента	Опис на елементите	Пресметана маса (kg)
Носечка конструкција	Челични цевки (рамка и ногари)	22.40
Решетката површина	Седиште и висок потпирач (40 cm)	38.50
Заштитен премаз	Црна антикорозивна заштита	1.10
ВКУПНА МАСА		62.00 kg

Табела 5.17 Проценка на влијанието (GWP)

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание
Челик (Вкупно)	60.90	1.55	94.40	97.5%
Премаз / Боја	1.10	\$2.15 (агрегатно)	2.37	2.5%
ВКУПНО GWP			96.77	100%

Дискусија и теренски наоди

- **Отпорност на климатски влијанија:** Фотографијата и теренската анализа потврдуваат дека решеткастиот дизајн е супериорен во дождливи услови бидејќи не задржува вода. Ова го продолжува животниот век на заштитниот премаз и ја намалува брзината на корозија.
- **Ергономија наспроти Издржливост:** Иако GWP е највисок меѓу сите модели (поради големата количина на челик), неговата издржливост е над 20 години. Главниот проблем е нискиот термо-комфорт (металот е ладен) и тврдоста на решетката.
- **Upcycling и циркуларност:** Како целосно метален производ, S9 е идеален за циркуларната економија. Челикот може целосно да се рециклира или рамката да се искористи за нов хибриден дизајн со додавање на дрвени или HDPE летви за подобрување на комфорот.

5.4.11. Проценка на животниот циклус (LCA) на урбана клупа S15 (Линеарен метален дизајн)

Цел и опсег: Целта на оваа анализа е моделот S15, лоциран на градскиот плоштад. Студијата се фокусира на влијанието на челичната конструкција со интегрирани наслони за раце врз вкупниот јаглероден отпечаток. Опсегот е Cradle-to-Gate, со посебен осврт на фазата на демонтажа и потенцијалот за замена на дрвените сегменти со рециклиран композит.

Методологија и пресметка на маса: Пресметката е извршена врз основа на димензиите 160 x 35 x 50 cm. Моделот се состои од челична рамка од квадратни профили и три надолжни дрвени летви.

Табела 5.18 Коефициенти и извори на податоци

Материјал	Густина (ρ)	Емисионен фактор (EF)	Извор на податоци
Челик (S235)	7850 kg/m ³	1.55 kg CO ₂ e/kg	ICE Database v3.0
Масивно дрво	700 kg/m ³	0.31 kg CO ₂ e/kg	Agribalyse v3.1
Заштитен премаз	N/A	2.70 kg CO ₂ e/kg	Ecoinvent v3.8

Табела 5.19 Инвентар на животниот циклус (LCI) за клупа S15

Компонента	Материјал / Димензии	Пресметана маса (kg)
Челична рамка	Квадратни цевки 40 x 40x mm	18.50
Дрвени летви (3x)	Масивно дрво (бор/буква)	12.20
Спојни елементи	Челични болтови и анкери	0.60
ВКУПНА МАСА		31.30 kg

Табела 5.20. Потенцијал за глобално затоплување (GWP)

Материјал	Маса (kg)	Емисионен фактор (EF)	Вкупно kgCO ₂ e	% од влијание
Челик (S235)	19.10	1.55	29.60	85.5%
Дрво	12.20	0.31	3.78	10.9%
Заштитен премаз	0.45	2.70	1.22	3.6%
ВКУПНО GWP			34.60	100%

Дискусија и препораки за оптимизација

Социјална одржливост наспроти Емисии: Наслоните за раце (18 cm) додаваат околу 3.5 kg челик, што го зголемува GWP за приближно 15% во споредба со моделите без наслони. Ова зголемување е оправдано преку подобрата пристапност за постари лица.

Проблем со задржување вода: Како што беше забележано на терен (фотографија S15), рамните летви предизвикуваат акумулација на дождовница, што го забрзува деградирањето на дрвото.

Предлог за Upcycling: Едноставната геометрија на рамката е идеална за имплементација на HDPE летви. Замената со рециклиран композит би го елиминирала задржувањето на влага и би ја намалила потребата од токсични заштитни премази (VOC).

5.4.12. Компаративна анализа на постојните модели

Оваа табела ја сумира ефикасноста на материјалите и јаглеродниот интензитет на постојните решенија:

Табела 5.21 ефикасноста на материјалите и јаглеродниот интензитет на S3 S6 S8 S15

Модел	Главен материјал	Маса (kg)	GWP (kgCO ₂ e)	Критична точка (Hotspot)
S3	Челик / Меко дрво	73.25	85.30	Висок јаглероден отпечаток на челикот
S6	Бетон / Дрво	344.45	60.80	Тежина и неможност за лесна рециклажа
S8	Железо / Дрво	57.50	54.83	Поправливост наспроти емисии од леано железо
S15	Челик / Дрво	31.30	34.60	Оптимална маса, но проблем со влага кај дрвото

Компаративната анализа на петте постојни модели (S3, S6, S8, S9 и S15) открива значителна варијабилност во еколошкиот отпечаток, каде вкупниот GWP се движи од најниските 34.60 kg CO₂e кај оптимизираниот линеарен модел S15, па сè до 96.77 kg CO₂e кај тешката челична решетка на S9. Додека бетонот кај S6 нуди најнизок емисионен фактор по единица маса 0.15 kg CO₂e/kg, неговата екстремна тежина и низок потенцијал за рециклирање го прават помалку поволен од хибридниите метални конструкции во контекст на кружната економија. Со воведувањето на новите дизајнерски сценарија, се забележува дека комбинацијата на алуминиум со отпаден материјал претставува најодржлив патокказ, бидејќи ја користи малата тежина на алуминиумот за намалување на логистичкиот товар и истовремено го елиминира еколошкиот интензитет на фазата A1 преку инкорпорирање на рециклирани полимери. Опциите со ThermoWood во комбинација со челик или алуминиум нудат значително подобрување на животниот век во споредба со традиционалното меко дрво, со што се намалува фреквенцијата на замена и емисиите поврзани со токсичните заштитни премази, позиционирајќи ги овие решенија како супериорни во однос на долготрајната урбана отпорност.

5.4.13. Инвентаризација и проценка на постоечкиотите канти за отпадоци

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа K1	
Локација	Градски плоштад, културен центар, кеј, тротоар	
Големина / Капацитет	~25–35 L	
Тип на материјал	Прашкasto обоен метал (челик) со перфорации	
Рециклирачки материјали	Металот е рециклирачки, премазот мора да се процесира посебно	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема	
Тип на ќеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Може да се користи без ќеса; компатибилна со пластични кеси 30–40 L	
Механизам на капак	Нема – отворен горен дел	
Големина на отвор / Пристап	Целосно отворен врв, многу лесен пристап	
Капацитет vs количина отпад	Погодна за паркови и пешачки патеки со умерен промет	
Контрола на миризба	Многу слаба	
Леснотија на чистење	Добра – мазна метална површина, но перфорациите може да собираат нечистотија	
Стабилност кога е полна	Висока – цврсто монтирана на метален столб фиксиран во земја	
Леснотија на вадење на кесата	Многу лесно со ќеса за ѓубре – широкиот отвор овозможува директно вадење	
Ризик од пожар	Низок – умерен поради отворениот врв	
Оштри рабови	Можно кај врвот или перфорациите ако премазот се оштети; минимално при редовно одржување	
Јачини	Издржлива, отпорна на вандализам, едноставен дизајн, добра циркулација на воздух спречува влага, добра видливост при преполнување	
Проблеми	Нема капак, собира дождовница, нема контрола на миризба, низок капацитет, минимална естетска вредност, нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа К2	
Локација	Паркот кај Шарената Џамија	
Големина / Капацитет	~40–60 L	
Тип на материјал	Метал (железни летви) со пластична ќеса	
Рециклирачки материјали	Телото на корпата е метално и рециклирачко; ќесите се пластични и нерециклирачки	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема	
Тип на ќеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Стандардна средна 50–70 L, врзана околу работ	
Механизам на капак	Нема капак – отворен горен дел	
Големина на отвор / Пристап	Целосно отворена, лесен и непречен пристап одозгора	
Капацитет vs количина отпад	Умерено – погодна за лесен отпад во паркови	
Контрола на миризба	Слаба	
Леснотија на чистење	Средна – отворениот дизајн овозможува лесно плакнење; летвите можат да собираат нечистотија и бараат периодично одржување	
Стабилност кога е полна	Добра – корпата е монтирана на столб фиксиран во земја	
Леснотија на вадење на кесата	Средна – кесата може да се закачува на летвите ако е преполнета	
Ризик од пожар	Поголем во споредба со корпи со капак	
Оштри рабови	Можно околу металните летви или работ, во зависност од одржувањето	
Јачини	Издржлива, метална конструкција, отпорна на временски услови, лесна за одржување, лесен пристап	

Критериуми	Вредност / Опис	
Проблеми	Нема капак, па влегува дожд и се шири миризба; животни може да пристапат; естетско оштетување; ограничен капацитет; зголемен ризик од пожар; нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис		
Тип на корпа	Општа корпа К3		
Локација	Бутичка улица – пешачка зона		
Големина / Капацитет	~50–70 L		
Тип на материјал	Надворешна обвивка – дрвени летви (лакирано меко или тврдо дрво). Внатрешен сад – галванизиран метал. Монтажна основа – метал.		
Рециклирачки материјали	Металот е рециклирачки. Дрвената надворешност – делумно рециклирачка, зависно од премазот.		
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема		
Тип на кеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Средни пластични кеси од 50–70 L		
Механизам на капак	Нема капак		
Големина на отвор / Пристап	Широк кружен отвор		
Капацитет vs количина отпад	Соодветно за умерен пешачки промет		
Контрола на миризба	Слаба		
Леснотија на чистење	Добра – металниот внатрешен сад може да се извади; дрвената надворешност бара одржување		
Стабилност кога е полна	Стабилна – прицврстена за подлогата со метална основа		
Леснотија на вадење на кесата	Лесно – внатрешниот метален цилиндричен сад е вадлив		
Ризик од пожар	Умерен – поради дрвената надворешност		
Оштри рабови	Низок – мазните дрвени летви го намалуваат ризикот од повреди		

Критериуми	Вредност / Опис	
Јачини	Привлечен изглед, издржливо метално јадро, стабилно монтирање, лесен пристап, лесно празнење	
Проблеми	Нема капак – влегува дожд, ветерот може да раздува отпад, животни имаат пристап, дрвото може да се оштети, отворот е премногу широк за лесни отпадоци	

Критериуми	Вредност / Опис		
Тип на корпа	Општа корпа К4		
Локација	На тротоар – во близина на Општината		
Големина / Капацитет	~50–70 L		
Тип на материјал	Надворешни дрвени летви на метална рамка. Внатрешност – поцинкуван метален сад. Капак – метален со интегрирана пепеларник		
Рециклирачки материјали	Металните компоненти – рециклирачки. Дрвото е рециклирачко во зависност од лакот		
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема		
Тип на кеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Нема пластична кеса, но може да се додаде по потреба		
Механизам на капак	Метален капак со шарки (оштетен) со централен отвор за пепеларник		
Големина на отвор / Пристап	Средно голем кружен отвор на капакот за фрлање отпад; капакот не функционира правилно. Голем страничен отвор		
Капацитет vs количина отпад	Умерен – капацитетот е намален поради оштетениот внатрешен сад		
Контрола на миризба	Подобра од корпи со отворен врв, но слаба во моменталната состојба – капакот не се затвора добро		
Леснотија на чистење	Умерена – внатрешниот сад може да се извади. Постоечките вдлабнатини и 'рѓа го отежнуваат чистењето		
Стабилност кога е полна	Добра – корпата е фиксирана за подлогата		

Критериуми	Вредност / Опис	
Леснотија на вадење на кесата	Лесна кога внатрешниот сад не е оштетен	
Ризик од пожар	Низок поради металната внатрешност	
Оштри рабови	Висок ризик – деформиран метален внатрешен сад	
Јачини	Издржливи материјали, интегриран пепеларник, дизајн отпорен на временски услови, внатрешен сад што може да се вади	
Проблеми	Оштетен внатрешен сад, преполн пепеларник, деформиран внатрешен капак, истрошени дрвени летви, лоша хигиена, намалена употребливост, зголемен ризик од пожар, потенцијални остри рабови, нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис		
Тип на корпа	Општа корпа К5		
Локација	На тротоар – ул. Илинденска (висок сообраќај и пешачки проток)		
Големина / Капацитет	~30–40 L		
Тип на материјал	Целосно метална – корпа од перфориран челик со челична рамка		
Рециклирачки материјали	Целосно рециклирачки материјал		
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема		
Тип на кеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Функционира со или без пластична кеса (30–40 L)		
Механизам на капак	Нема капак		
Големина на отвор / Пристап	Голям правоаголен отвор на врвот		
Капацитет vs количина отпад	Ограничен капацитет – погодна за лесен пешачки проток		
Контрола на миризба	Слаба – отсуството на капак и перфорациите дозволуваат ширење на миризба		
Леснотија на чистење	Добра за металната рамка; перфорациите може да задржуваат леплив отпад		

Критериуми	Вредност / Опис	
Стабилност кога е полна	Добра – фиксирана со четири штрафови на метална основна плоча	
Леснотија на вадење на кесата	Лесна – отворениот рамковен дизајн овозможува брзо вадење	
Ризик од пожар	Умерен – перфорациите овозможуваат кислород да го поттикне пожарот	
Оштри рабови	Можни – перфорираните отвори и горниот раб може да создадат остри рабови при оштетување	
Јачини	Ниска цена за инсталација, едноставен дизајн, добро одведување на дождовница, издржлив материјал, лесно празнење	
Проблеми	Нема капак – отпадот може да се разнесува од ветер, мал капацитет, насобирање нечистотија на дното, можна корозија при оштетување на бојата, нема селекција на отпад	
Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа К6	
Локација	На тротоар – во близина на Општината	
Големина / Капацитет	~20–30 L	
Тип на материјал	Нерѓосувачки челик (брушена / необработена површина)	
Рециклирачки материјали	Рециклирачки материјал	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема – еден отвор, без внатрешна поделба	
Тип на кеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Мала стандардна пластична кеса како влошка	
Механизам на капак	Фиксен горен капак, оштетен	
Големина на отвор / Пристап	Правоаголен отвор на предната страна, мала големина	
Капацитет vs количина отпад	Низок капацитет, лесно се преполнува	
Контрола на миризба	Слаба – отворен процеп без механизам за заптивање	
Леснотија на чистење	Слаба – мал внатрешен простор и деформирани делови	

Критериуми	Вредност / Опис	
Стабилност кога е полна	Генерално стабилна, мала веројатност за превртување; деформациите може да ја ослабат	
Леснотија на вадење на кесата	Потенцијално тешка – тесен отвор, капакот не се подига	
Ризик од пожар	Среден – затвореното дно може да задржува топлина	
Оштри рабови	Капакот изгледа оштетен, опасен за работниците при чистење	
Јачини	Издржлива, отпорна на временски услови, фиксирана за подлогата со штрафови, компактна	
Проблеми	Деформирана конструкција, оштетен капак, слаба контрола на миризба, тешко чистење и празнење, заострени рабови, визуелно неатрактивна	

Критериуми	Вредност / Опис		
Тип на корпа	Општа корпа К7		
Локација	На тротоар – во близина на главната пошта		
Големина / Капацитет	~30–50 L		
Тип на материјал	Бетон		
Рециклирачки материјали	Нерециклирачки материјал		
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема		
Тип на кеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Нема пластична кеса но може да се постави		
Механизам на капак	Нема капак		
Големина на отвор / Пристап	Голем кружен отвор на врвот, лесен за фрлање отпад		
Капацитет vs количина отпад	Добар капацитет		
Контрола на миризба	Слаба – дождовницата може да се собира и да ја влоши миризбата		

Критериуми	Вредност / Опис	
Леснотија на чистење	Слаба – внатрешноста од бетон е груба и впила нечистотија	
Стабилност кога е полна	Многу висока	
Леснотија на вадење на кесата	Многу тешка	
Ризик од пожар	Низок – бетонот го намалува ширењето на пожар	
Оштри рабови	Нема	
Јачини	Исклучително издржлива и стабилна, отпорна на вандализам, голем отвор и волумен, тешка и не може лесно да се помести или преврти	
Проблеми	Нема капак, тешка за чистење, визуелно неатрактивна, отворениот врв привлекува штетници, лисја, отпад разнесен од ветер и дожд, нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа К8	
Локација	Парк во близина на централната станица	
Големина / Капацитет	~20–30 L	
Тип на материјал	Метал (жичана мрежеста конструкција и метален потпорен прстен, челична плоча)	
Рециклирачки материјали	Рециклирачки материјал	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема	
Тип на кеса за губре (повторно употреблива / еднократна)	Нема пластична кеса но може да се постави	
Механизам на капак	Нема капак	

Критериуми	Вредност / Опис	
Големина на отвор / Пристап	Кружен отвор, лесен пристап за фрлање отпад	
Капацитет vs количина отпад	Мал капацитет – брзо се полни	
Контрола на миризба	Слаба – отворен дизајн, отпадот е изложен	
Леснотија на чистење	Умерена – без внатрешна влошка прашина, отпад, течности и ситни честички може да се заглават во мрежата или да паѓаат	
Стабилност кога е полна	Добра – корпата е монтирана на столб	
Леснотија на вадење на кесата	Лесна со ќеса; без ќеса – отежната	
Ризик од пожар	Умерен до низок	
Оштри рабови	Можни околу мрежата ако е оштетена или 'ргосана	
Јачини	Едноставен и евтин дизајн, добро одведување на вода	
Проблеми	Нема капак, создава неред, мал капацитет, видлив отпад, слаба конструкција, бара често одржување, нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа K9	
Локација	Во пешачка зона (булевар)	
Големина / Капацитет	~30–40 L	
Тип на материјал	Метал (бојадисан челик и челична носечка рамка)	
Рециклирачки материјали	Рециклирачки материјал	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема	
Тип на ќеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Прифаќа ќеси од 30–40 L	

Критериуми	Вредност / Опис	
Механизам на капак	Нема капак – дизајн со отворен врв (рамката првично била наменета за држење капак или фиксирање на корпата, но е оштетена)	
Големина на отвор / Пристап	Голям кружен отвор на врвот, лесен за фрлање отпад	
Капацитет vs количина отпад	Умерен капацитет – соодветен за лесен пешачки проток	
Контрола на миризба	Слаба – отворен дизајн	
Леснотија на чистење	Умерена до добра	
Стабилност кога е полна	Моментално слаба – корпата не е соодветно фиксирана во рамката	
Леснотија на вадење на кесата	Лесна доколку се користи влошка; без неа потребно е кревање	
Ризик од пожар	Умерен – запалена цигара може да запали хартиен отпад	
Оштри рабови	Можни на горниот раб	
Јачини	Едноставна, евтина, металното тело е издржливо, добар пристап за корисниците	
Проблеми	Корпата не е фиксирана за рамката, нестабилна и подложна на злоупотреба, нема капак, појава на 'рѓа и оштетување на бојата, слаб визуелен изглед, нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа К10	
Локација	Тротоар	
Големина / Капацитет	~25–30 L (по корпа)	
Тип на материјал	Метал (челик) со бојадисана површина, перфориран за одводнување и вентилација	
Рециклирачки материјали	Рециклирачки материјал	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема	
Тип на кеса за губре (повторно)	Прифаќа кеси од 30–40 L	

Критериуми	Вредност / Опис	
употреблива / еднократна)		
Механизам на капак	Нема капак – целосно отворен врв	
Големина на отвор / Пристап	Широк кружен отвор, лесен пристап	
Капацитет vs количина отпад	Соодветен капацитет	
Контрола на миризба	Слаба – отворен дизајн	
Леснотија на чистење	Умерена – перфорациите задржуваат нечистотија, а на дното се собира талог од дожд	
Стабилност кога е полна	Добра – фиксирана на метален столб	
Леснотија на вадење на кесата	Лесна доколку се користи влошка; без неа потребно е кревање	
Ризик од пожар	Умерен – запалена цигара може да запали хартиен отпад	
Оштри рабови	Можни на горниот раб; перфорациите може да развијат 'рѓосани рабови	
Јачини	Издржлива метална конструкција, добра вентилација и одводнување, сигурно монтирана, лесна за користење	
Проблеми	Отворен врв, собирање дождовница и натопен отпад, истрошена површина, перфорациите собираат остатоци и кал, нема селекција на отпад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа K11	
Локација	Културен центар	
Големина / Капацитет	~25–35 L	
Тип на материјал	Метал (челик) со обоена, третирана надворешност	
Рециклирачки материјали	Металот е рециклирачки, облогата со боја може да бара обработка	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема – едноструен отпад	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на кеса за ѓубре (повторно употреблива / еднократна)	Прифаќа кеси од 30–40 L	
Механизам на капак	Нема – дизајн со отворен врв	
Големина на отвор / Пристап	Широк и целосно отворен, лесен пристап	
Капацитет vs количина отпад	Погодна за лесен пешачки отпад	
Контрола на миризба	Слаба – отворен дизајн	
Леснотија на чистење	Умерена – лесен пристап, но можност за ‘рѓосување	
Стабилност кога е полна	Висока – фиксирана на метален столб	
Леснотија на вадење на кесата	Релативно лесно	
Ризик од пожар	Умерен – можно фрлање запалени предмети	
Оштри рабови	Можно на горниот раб и на ‘рѓосаните делови	
Јачини	Трајна конструкција, отпорна на временски услови, стабилна, лесен пристап	
Проблеми	Отворена за дожд, мириси, инсекти; нема селекција; без капак; ризик од ‘рѓа; видлив отпад кога е преполна	

Критериуми	Вредност / Опис	
Тип на корпа	Општа корпа K10	
Локација	На тротоар покрај булевардот Маршал Тито, покрај кејот	
Големина / Капацитет	~40–50 L	
Тип на материјал	Метална рамка (челик), дрвени летви однадвор, метален внатрешен сад	
Рециклирачки материјали	Металните делови се целосно рециклирачки; дрвените летви може да се рециклираат зависно од третманот; комбинираните	

Критериуми	Вредност / Опис	
	материјали ја усложнуваат рециклирачноста	
Компатибилност со систем за селекција на отпад	Нема	
Тип на кеса за губре (повторно употреблива / еднократна)	Внатрешен вадечки метален сад	
Механизам на капак	Нема капак – целосно отворен врв	
Големина на отвор / Пристап	Средно голем кружен или квадратен отвор, ограничува поголеми предмети	
Капацитет vs количина отпад	Доволен капацитет за умерен пешачки промет	
Контрола на миризба	Ограничена – отворот дозволува миризбата да излегува	
Леснотија на чистење	Слаба – дрвените летви може да впијат нечистотија и да се оштетат	
Стабилност кога е полна	Добра – тежината и формата ја прават стабилна, но не е фиксирана за подлога	
Леснотија на вадење на кесата	Солидна – преку вадење на внатрешниот метален сад	
Ризик од пожар	Умерен – отворениот врв дозволува фрлање запалени материјали	
Оштри рабови	Можно по металната рамка или рабовите на внатрешниот сад; дрвото може да пука кога е изложено на временски услови	
Јачини	Естетска комбинација од дрво и метал, цврста конструкција, лесно одржување, визуелно се вклопува во урбана средина	
Проблеми	Отворениот врв собира дождовница, дрвените елементи можат да гнијат, нема селекција, нема контрола на миризба, не е фиксирана, потребно е почесто одржување	

5.4.14. Анализа на одржливоста

Одржливоста на урбаната опрема се оценува преку три клучни столбови: **еколошки, економски и оперативен.**

- **Материјална одржливост:** Повеќето модели (K1, K5, K10) користат челик кој има висока стапка на рециклирање. Сепак, кај хибридниите модели (K3, K4, K10* со дрво), одржливоста се намалува поради потребата од често лакирање и брзото пропаѓање на дрвото под влијание на УВ зраци и влага.

- **Ефикасност на управувањето:** Голем проблем кај сите модели е недостатокот на систем за селекција. Од аспект на циркуларна економија, овие корпи се „линеарни“ – сè завршува на депонија како мешан отпад.

Климатска отпорност: Недостатокот на капак кај скоро сите модели е критична точка. Дождовницата го натопува отпадот, ја зголемува неговата тежина (што го зголемува јаглеродниот отпечаток при транспорт) и создава токсични исцедоци кои ги валкаат јавните површини.

Табела 5.22 Табеларен преглед и споредба на моделите

Тип на корпа	Локација (тип)	Материјал	Рециклираност	Издржливост / Вандализам	Хигиенска контрола (Миризба/Дожд)
Метална перфорирана (K1, K5, K10)	Тротоари / Плоштади	Прашкasto боен челик	Висока	Средна (подложна на корозија)	Многу слаба (отворен врв)
Хибридна (K3, K4, K10)	Паркови / Пешачки зони	Дрво + Метал	Средна (бара расклопување)	Висока стабилност	Подобра (само K4)
Бетонска (K7)	Пошта / Прометни зони	Бетон	Ниска	Максимална	Слаба (тешко чистење)
Ипox / Нерѓосувачки (K6)	Општина	Нерѓосувачки челик	Висока	Висока (но лесно се деформира)	Средна (има капак)
Жичана мрежа (K8)	Станица / Парк	Челична жица	Висока	Ниска	Критично слаба

Матрица на оперативна изведба

А. Модели со висок капацитет и стабилност (K3, K4, K7, K10)

- **Предности:** Овие корпи (40–70 L) се соодветни за зони со голем проток. Бетонските и тешките метални конструкции се отпорни на поместување и кражба.
- **Слабости:** K7 и K3 тешко се празнат ако немаат внатрешен сад, што го зголемува ризикот од повреди кај работниците.

Б. Економски модели (K1, K5, K8, K9)

- **Предности:** Ниска почетна инвестиција, лесна монтажа.
- **Слабости:** Краток животен век. Перфорациите и мрежите дозволуваат протекување на течности, што бара дополнително миење на улиците со хемикалии.

В. Специјализирани/Урбани модели (K4, K6)

- **Предности:** K4 е единствениот модел со пепеларник, што е клучно за заштита од пожар во корпата. K6 е материјално најиздржлив на корозија.
- **Слабости:** Лошото одржување (заглавени капаци) ги прави неупотребливи.

5.4.15. Компаративна анализа и резултати од математичкиот модел

Врз основа на теренските истражувања и деталниот попис на урбаната опрема, извршено е бодување на сите 11 идентификувани модели. Оценките се движат на скала од 1 до 5, каде што 1 претставува критично ниво, а 5 оптимално решение според критериумите на одржливост.

Табела 5.23 Целосна матрица на Индексот на одржливост (SI) за моделите K1–K11

Модел	Рец. (0.25)	Трај. (0.20)	Зашт. (0.20)	Одрж. (0.15)	Естет. (0.10)	Вандал. (0.10)	Вкупно (SI)
K1	5	3	1	4	2	4	2.95
K2	4	3	1	3	2	3	2.55
K3	3	3	1	4	4	4	2.90
K4	4	4	4	3	5	4	3.95
K5	5	3	1	4	2	4	2.95
K6	5	5	3	2	3	3	3.75
K7	1	5	1	1	2	5	2.05
K8	5	2	1	2	1	2	2.40
K9	5	3	1	3	2	2	2.65
K10	4	4	1	3	4	4	3.05
K11	5	3	1	3	2	4	2.80

Интерпретација на сеопфатните резултати

Анализата на целосната листа на модели открива три карактеристични групи на урбана опрема во испитуваниот контекст:

1. Група на функционална супериорност (SI > 3.50):

Во оваа група влегуваат само моделите K4 и K6. Нивната предност произлегува од интеграцијата на капак (заштита од врнежи) и употребата на напредни материјали (инокс или заштитен метал). Моделот K4 е идентификуван како најбалансирано решение со највисок индекс (3.95), главно поради социјалниот аспект (естетика и пепеларник).

2. Група на метален стандард (SI 2.50 – 3.10):

Ова е најбројната група (K1, K2, K3, K5, K10, K11). Овие корпи имаат солидна рециклираност и прифатлива цена, но нивниот индекс е деградиран поради:

- **Отворен врв:** Изложеност на атмосферски влијанија.
- **Минимална естетска вредност:** Што често резултира со несоодветно однесување на корисниците (неред околу корпата).
- **Ризик од корозија:** Кај моделите како K11 и K2, каде што премазот е единствената заштита.

3. Група на критична дефицитарност (SI < 2.50):

Моделите K7 (бетон) и K8 (жичана мрежа) покажуваат најниски перформанси. Иако се наоѓаат на спротивни страни во однос на тежината, и двата модела се неодржливи:

- K7 поради неможноста за рециклирање и екстремно лошата хигиена (бетонот ги апсорбира нечистотиите).
- K8 поради слабата конструкција која лесно се деформира и не нуди никаква визуелна бариера за отпадот.

5.5. Заклучоци и препораки

5.5.1. Клучни предизвици и можности: Од контекстуална евалуација до еколошки отпечаток

Ова истражување обезбеди систематска и повеќеслојна анализа на постоечкиот урбан мебел за седење преку детална инвентаризација и квантитативно бодување на 17 различни типови клупи (S1–S17). Примената на унифицирана матрица за бодување овозможи објективна споредба помеѓу ергономијата, одржливоста и пристапноста.

Квантитативната споредба на сите 11 модели на постојните канти за отпадоци ја потврдува хипотезата дека постојната урбана инфраструктура е морално и технички застарена. Просечниот индекс на одржливост на сите модели изнесува 2.91, што е под прагот на посакуваната ефикасност за современ „паметен“ и одржлив град.

Дизајнерски дефицит: Огромното мнозинство (над 90%) од анализираните корпи немаат капак, што е во спротивност со современите санитарни стандарди за урбана одржливост.

Материјален парадокс: Иако металот е рециклирачки, неговото одржување (често бојадисување со токсични бои) го зголемува влијанието врз околината.

Препорака за стандардизација: За одржлив град, препорачливо е преоѓање кон модели слични на K4, но со воведување на двојна комора (за селекција) и задолжителен функционален капак за заштита од атмосфералии.

Социјален аспект: Неатрактивните и оштетени корпи (како K6 и K9) ја намалуваат граѓанската свест за фрлање отпад, што води до дополнително загадување на јавниот простор.

Овие податоци служат како емпириска основа за развој на новиот модуларен систем, кој има за цел да ги адресира идентификуваните слабости, особено во делот на заштитата од атмосферски влијанија и олеснувањето на процесот на одржување.

5.5.2. Синтеза на квалитативните наоди и корисничкото искуство

Резултатите од теренското истражување покажуваат дека моделите со највисоки оценки (Класа А) успешно балансираат помеѓу комфорот и материјалната издржливост, најчесто комбинирајќи метални или бетонски конструкции со ергономски потпирани. Спротивно на нив, моделите од Класа С покажуваат значителни недостатоци во пристапноста, што укажува на тоа дека високата вандал-отпорност не може да ја компензира слабата ергономија.

5.5.3. Квантитативна поткрепа: Резултати од Проценката на животниот циклус (LCA)

За да се обезбеди целосна слика за одржливоста, истражувањето ги надмина визуелните и функционалните аспекти преку спроведување на Cradle-to-Gate (A1-A3) анализа на репрезентативните модели (S3, S6, S8, S9, S15). Користејќи го софтверот openLCA и релевантни бази на податоци како ICE Database v3.0 и Agribalyse, беа идентификувани следните еколошки индикатори:

- **Доминација на фазата A1:** Кај сите анализирани модели, над 80% од јаглеродниот отпечаток се генерира во фазата на екстракција на суровините. Ова е особено изразено кај моделот S9, кој со вкупни 96.77 kg CO₂e претставува еколошки најинтензивен дизајн поради масивната употреба на челик.

- **Ефикасност на хибридниот пристап:** Моделот S15, кој претходно беше бодуван со високи оценки за ергономија, истовремено покажа најнизок Потенцијал за глобално затоплување (GWP) од 34.60 kg CO₂e. Ова потврдува дека лесниот, линеарен дизајн со оптимизирани челични профили е најодржливиот пат за урбаниот развој.

- **Проблематика на одржувањето:** LCA пресметките открија дека употребата на лакови со висок VOC кај дрвените елементи (S3, S8) не само што го зголемува токсиколошкиот отпечаток, туку бара и често повторување поради недостатоци во дизајнот за одвод на вода.

5.5.4. Интегрирани импликации за дизајн и одржливост

Вкрстувањето на податоците од теренското бодување и LCA калкулациите јасно укажува дека најуспешните решенија се оние кои комбинираат долготрајна носечка конструкција со модуларни и заменливи контактни површини. Недостатокот на дренажа и употребата на материјали со висок вграден јаглерод се идентификувани како критични точки кои бараат итна дизајнерска интервенција.

5.5.5. Насоки за нови дизајнерски сценарија

Врз основа на оваа интегрирана евалуација, истражувањето предлага три нови насоки за оптимизиран урбан мебел, кои во следниот дел ќе бидат детално елаборирани:

1. **Сценарио „Изддржливост“ (Челик + Термодрво):** Директен одговор на проблемите со гниење на дрвото кај S3 и S15 преку употреба на термички обработено дрво.

2. **Сценарио „Леснотија“ (Алуминиум+Термодрво):** Намалување на вкупната маса и олеснување на транспортот (A2), истовремено елиминирајќи ја потребата од заштитни премази.

3. **Сценарио „Кружна економија“ (Алуминиум+Рециклиран материјал):** Имплементација на рециклиран алуминиум и отпаден материјал (HDPE) за седиштата, со цел да се постигне минимален еколошки отпечаток во фазата A1 и целосна поправливост.

5.6. Мапирање на недостатоците и потребите од урбан мебел

Ова мапирање прикажува просторна распределба и квантитативна застапеност на урбаниот мебел во одбрани јавни простори во градот Тетово. Анализата овозможува визуелна идентификација на просторни нерамнотежи во опременоста на јавните површини, при што се согледуваат јасни разлики помеѓу централните, периферните и транзитните зони.

Преку споредба на бројот на елементи на урбан мебел со големината, функцијата и интензитетот на користење на јавниот простор, мапата открива зони со изразен недостиг на опрема, како и простори со прекумерна или нефункционална концентрација. Овие податоци претставуваат основа за понатамошна приоритизација на интервенции и развој на контекстуално чувствителни дизајнерски решенија.

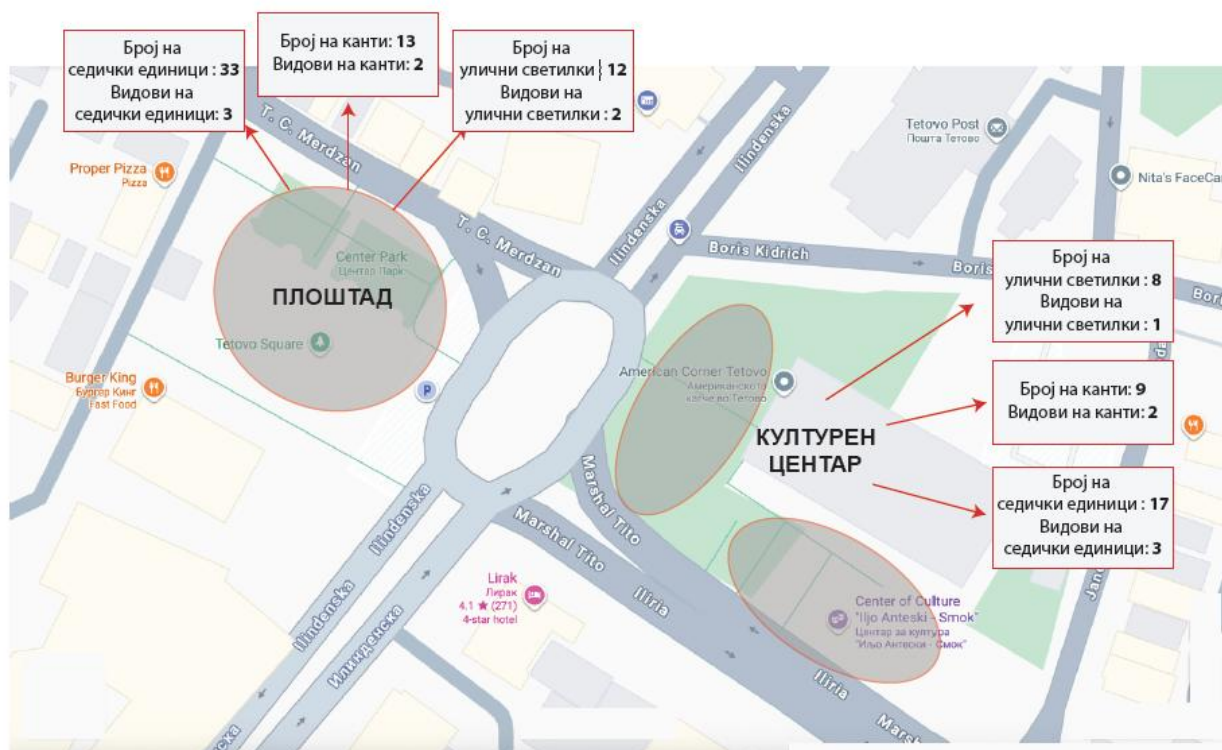
Резултатите од мапирањето укажуваат дека бројот на елементи на урбан мебел не е во корелација со реалните потреби на корисниците. Одредени јавни простори со висок пешачки флуks и социјален потенцијал покажуваат недоволна опременост, додека други,

помалку користени простори содржат стандарден, но нефлексибилен мебел кој не одговара на контекстот. Ова укажува на отсуство на стратешки пристап во распределбата на урбаната опрема и на потреба од податоци-базиран процес на планирање.

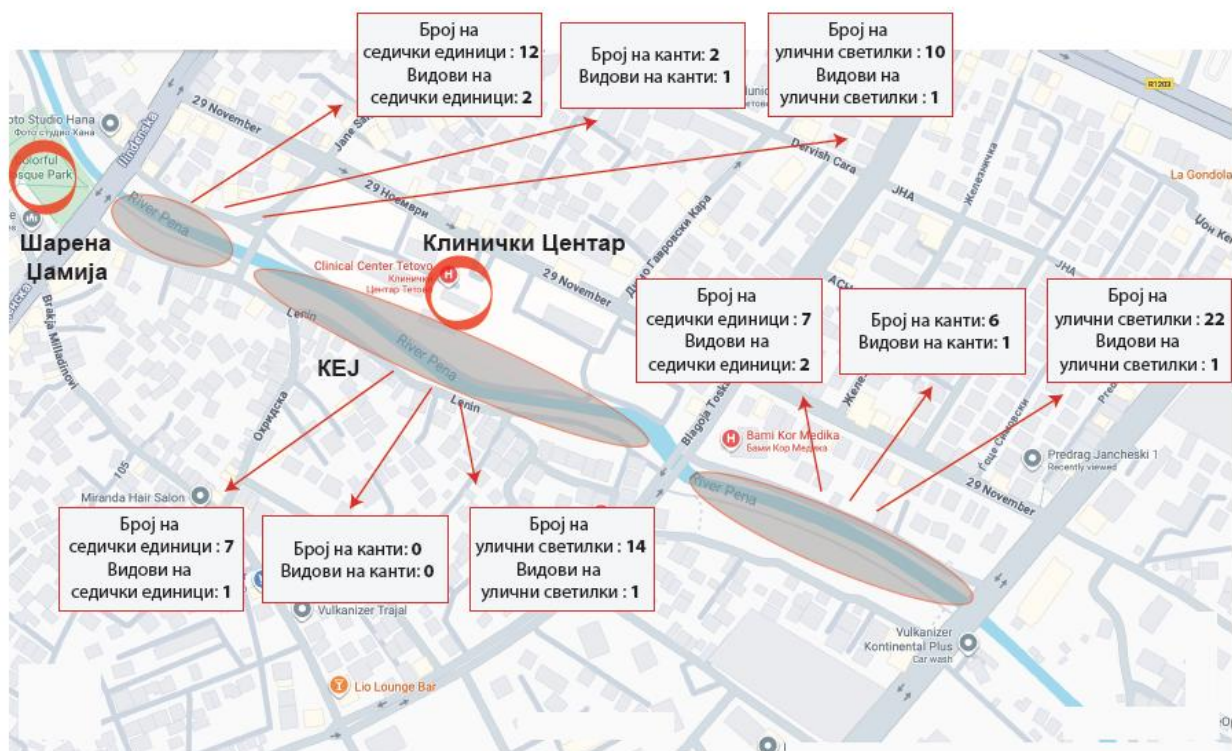
Недостатокот на урбан мебел, особено клупи со ергономска поддршка, директно влијае врз времетраењето на престојот и можноста за социјална интеракција во јавниот простор. Просторите со мал број или несоодветен мебел најчесто се користат транзитно, без задржување, што ја намалува нивната социјална и рекреативна вредност. Мапата на недостатоци, затоа, не го прикажува само физичкиот недостиг, туку и функционалната ограниченост на јавните простори.

Од аспект на одржливоста, нерамномерната распределба на урбаниот мебел резултира со неефикасно користење на ресурси. Простори со недоволна опременост генерираат потреба за чести ад-хок интервенции, додека простори со нефункционален мебел бараат зголемено одржување без соодветен социјален бенефит. Ова ја нагласува потребата од модуларни, адаптивни и долготрајни решенија кои можат да се прилагодуваат на различни просторни услови и нивоа на користење.

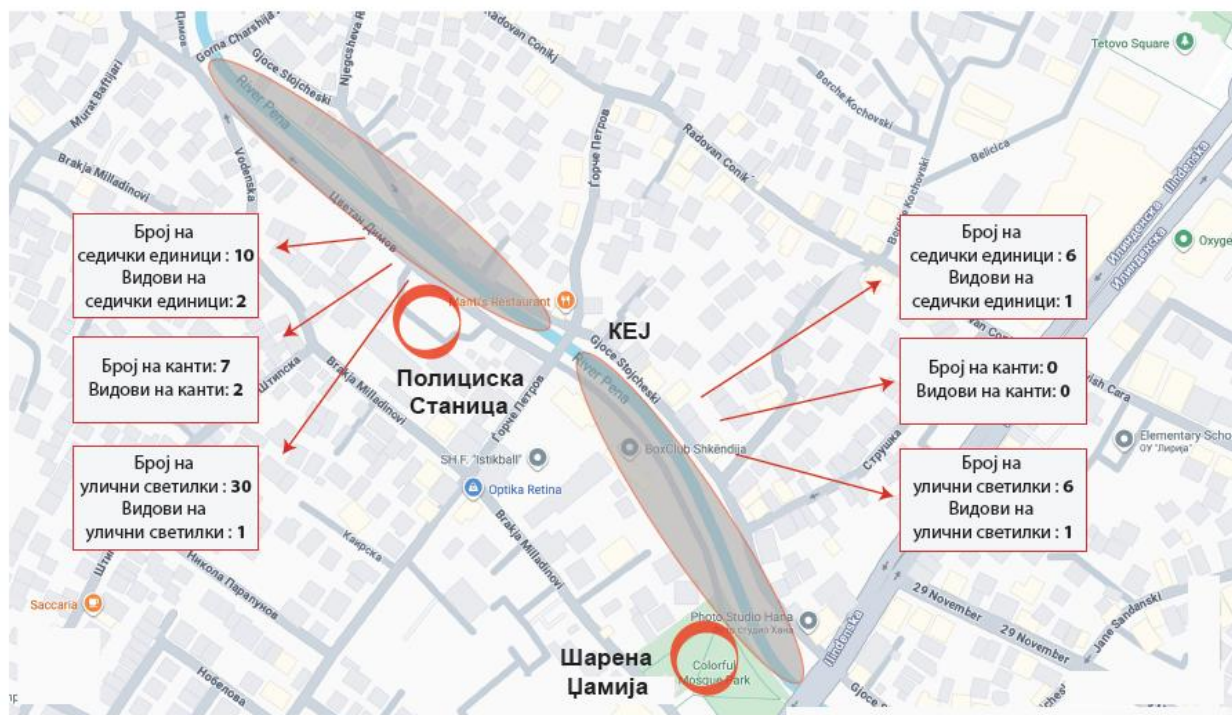
Во сликите подолу (слика 5.11, 5.12 и 5.13), прикажана е состојбата со единиците за седење, корпите за отпадоци и уличното осветлување во јавните отворени простори во Тетово, што претставува појдовна точка за утврдување на просторниот дефицит.



Слика 5.11 Мапирање и квантитативна анализа на постоечката урбана опрема во централното градско подрачје на Тетово (локации: Плоштад и Културен центар).



Слика 5.12 . Мапирање и квантитативна анализа на постоечката урбана опрема во централното градско подрачје на Тетово (локации: кеј на реката Пена).



Слика 5.13 Мапирање и квантитативна анализа на постоечката урбана опрема во централното градско подрачје на Тетово (локации: кеј на реката Пена)

5.7. Евалуација на потребите на корисниците: Анализа на социјалниот и функционалниот контекст во Тетово

Процесот на дизајнирање одржлива урбана опрема не смее да се темели исклучиво на техничките карактеристики на материјалите, туку мора да произлезе од реалните потреби и социјалната динамика на корисниците на просторот. Во таа насока, беше спроведено сеопфатно квантитативно и квалитативно истражување преку методот на анкетање, со цел да се идентификуваат дефицитите во метаболизмот на јавните простори во Тетово.

Главната цел на оваа фаза е да се дефинира „корисничкиот профил“ и да се мапираат критичните точки на незадоволство, кои подоцна служат како влезни параметри за развој на предлог-проектот. Истражувањето опфати различни демографски групи, со посебен фокус на лица со попреченост, професионалци од областа на архитектурата и дизајнот, како и студенти, со цел да се добие повеќеслоен увид во урбаната функционалност.

5.7.1. Методолошка рамка и демографски преглед

Анкетата беше структурирана во четири клучни сегменти:

1. **Демографија и инклузивност:** Мапирање на корисниците и нивните специфични физички потреби.
2. **Функционална евалуација:** Оцена на моменталната состојба на урбаната опрема (клупи, корпи, осветлување).
3. **Перцепција за материјалите:** Идентификување на проблемите поврзани со одржувањето и термичкиот комфор.
4. **Визија за иднината:** Преференции за паметни (smart) функции и еколошка материјализација.

Анализата на податоците открива дека јавниот простор во Тетово во моментот се соочува со сериозна криза на идентитет и функционалност. Одговорите на испитаниците укажуваат на тоа дека урбаната апатија е директна последица на долгогодишното лошо управување со опремата, што резултира со деградирани површини кои наместо да ја поттикнуваат социјализацијата, ја одвраќаат јавноста од подолг престој на отворено.

Во продолжение се презентирани деталните наоди кои ја формираат основата на дискусијата за транзиција кон новиот, хибриден модел на урбана опрема.

5.7.2. Приказ и интерпретација на резултатите од истражувањето

Добиените податоци беа обработени со цел да се извлечат квантитативни показатели за трите клучни детерминанти на истражувањето: функционалност, материјализација и технолошка интеграција.

А. Функционален дефицит и време на престој

Еден од најкритичните индикатори за квалитетот на јавниот простор е времето на престој. Податоците покажуваат дека јавните простори во Тетово во моментот имаат исклучително ниска ретенциона моќ.

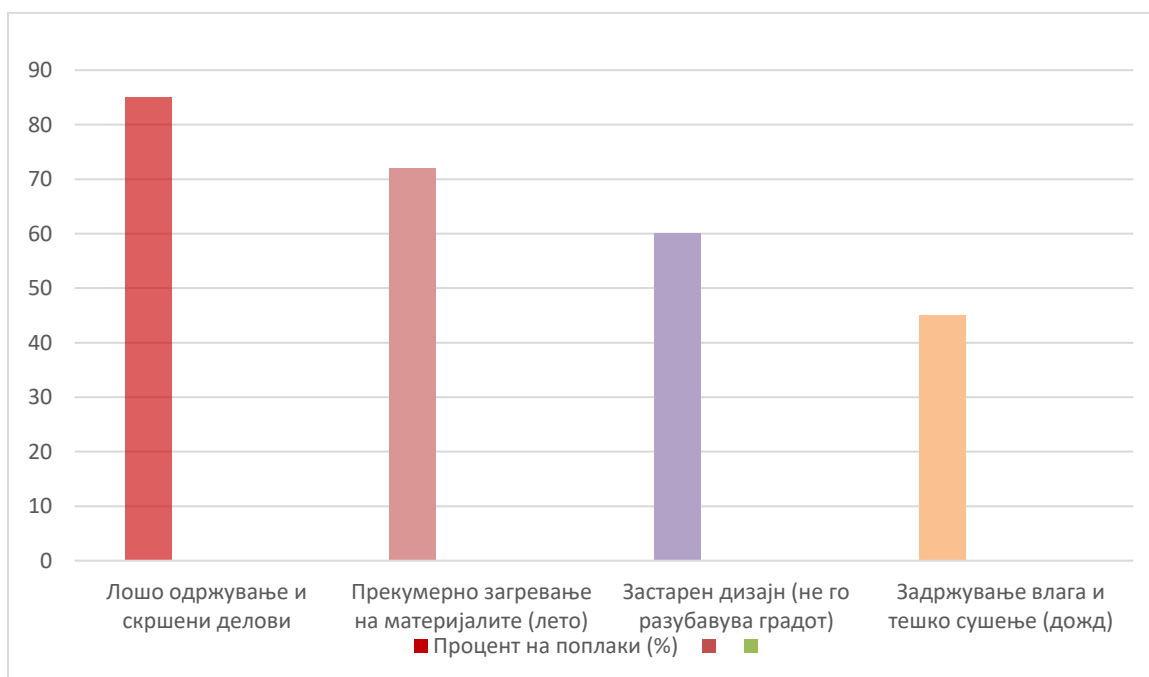
Табела: 5.1 Време на престој на испитаниците во кејот и плоштадот(Извор: Сопствено истражување)

Време на престој	Процент на испитаници	Главна причина за краткиот престој
0 – 15 минути	65%	Недостиг на места за седење и лоша хигиена.
5 – 45 минути	25%	Лоша ергономија и изложеност на сонце.
Над 45 минути	10%	Недостаток на дополнителни содржини (Wi-Fi, полначи).

Високиот процент на граѓани кои престојуваат помалку од 15 минути ја потврдува тезата дека градот функционира како транзитен коридор, што негативно влијае врз социјалната кохезија.

Б. Материјализација и термички комфор

Анализата на функционалните и материјалните дефицити (слика 5.14) мапира сериозни инженерски предизвици во моменталното управување со јавниот простор. Доминантното незадоволство од лошото одржување (85%) и прекумерното загревање на материјалите (72%) ги лоцира главните точки на неуспех на постоечките технички решенија во Тетово. Податокот дека над две третини од испитаниците го посочуваат термичкиот стрес (прегревањето на металните и бетонските површини) како пречка за користење на опремата, ја наметнува потребата од материјали со ниска термичка спроводливост.



Слика 5.14 Критични недостатоци на постоечката опрема (Извор: Сопствено истражување)

Табела: 5.2 *Преференци за паметни функции* (Извор: Сопствено истражување)

Ранг на приоритет	Посакувана паметна (Smart) функција	Посакуван концепт на дизајн
1	Соларни полначи за мобилни уреди	Модерен и еколошки (70%)
2	Интегрирано зеленило во структурата	Паметен/Smart стол (20%)
3	Бесплатен Wi-Fi пристап	Класичен/Традиционален (10%)

В. Преференции за паметни функции

Евалуацијата на технолошките аспекти на урбаната опрема (Табела 5.2) открива дека современиот корисник во Тетово има изразена потреба од функционална дигитална интеграција. Највисоко рангираната функција — соларни USB полначи (4.8) — укажува на фактот дека јавните простори се перципираат како места за подолг престој и работа на отворено, каде енергетската независност е критичен фактор. Високиот ранг на интегрираното зеленило (4.5) и бесплатниот Wi-Fi пристап (4.2) ја потврдуваат желбата на граѓаните за хибридни зони кои ги спојуваат природата и технологијата. Овие податоци директно го инспирираа развојот на предлог проектот, кој не е само пасивен елемент за седење, туку активен технолошки центар кој користи чиста енергија за напојување на паметни функции, со што се зголемува атрактивноста и функционалната вредност на јавниот простор во дигиталната ера.

Г. Преференции за иден дизајн



Слика 5.15 *Преференци за концептот на дизајн* (Извор: Сопствено истражување)

Испитаниците ја идентификуваа материјализацијата како главен фактор за (не)удобност во екстремни временски услови. Графичкиот приказ на преференциите на корисниците (слика 5.15) открива силна детерминираност кон современите еколошки трендови. Дури 70% од испитаниците се определиле за модерен и еколошки концепт, базиран на рециклирани материјали, што претставува јасен показател за зголемената јавна свест за одржливиот развој во Тетово. Само 10% од граѓаните сè уште претпочитаат традиционални материјали (метал и дрво), што укажува на тоа дека класичните естетски модели веќе не ги задоволуваат очекувањата на современиот граѓанин.

5.7.3. Анализа на предлозите од граѓаните за подобрување на јавниот простор во Тетово

Табела: 5.3 Табеларен приказ на предлозите од граѓаните за подобрување на јавниот простор (Извор: сопствено истражување)

Категорија	Клучни предлози од граѓаните	Поврзаност со истражувањето
Зеленило и екологија	„Повеќе зелени површини“, „Паркови со различни видови зеленило“.	Го оправдува концептот на Еко-дизајн и употребата на одржливи материјали.
Урбана опрема	„Модерни клупи“, „Подобрување на распоредот на јавните седишта“.	Директна поддршка за модуларниот систем „The Tetovo Rib“.
Одржување и хигиена	„Подобро одржување“, „Чистота“, „Редовно чистење“.	Употребата на rHDPE овозможува лесно чистење и отпорност на графити.
Технологија и безбедност	„Модерна технолошка опрема“, „Јавно осветлување“.	Интеграција на фотоволтаични панели и паметно LED осветлување.
Термички комфор	„Структури за сенка на плоштадот за време на топлотните бранови“.	Ја потврдува потребата од анализа на микроклиматаи заштита од УВ зрачење.
Социјална интеракција	„Простори за социјализација“, „Детски игралишта“, „Патеки за пешаци“.	Ја потврдува теоријата на William H. Whyte за мебелот како катализатор на животот во градот.

5.7.4. Опис и толкување на резултатите

Врз основа на спроведената анкета со жителите на Тетово (2026), може да се заклучи дека постои изразена потреба за ревитализација на јавните простори преку воведување на функционална и модерна урбана опрема.

Граѓаните јасно посочуваат дека јавните простори во моментов се дефицитарни во однос на зеленилото и квалитетните места за седење. Особено е значајно барањето за „структури за сенка“ на градскиот плоштад, што укажува на влијанието на урбаните топлотни острови врз квалитетот на престојот на отворено.

Дополнително, одговорите како „*Да се одржуваат што е можно подобро*“ и поплаките за нечистотијата, ја нагласуваат важноста на изборот на материјали. Проектот преку употребата на рециклиран полиетилен (rHDPE) и алуминиум, нуди решение кое е лесно за одржување и отпорно на надворешни влијанија, со што директно одговара на барањата на локалното население.

Еден од највпечатливите одговори: „*Немам предлог затоа што сум убеден дека ќе биде залудно*“, ја отсликува урбаната апатија и недовербата на граѓаните во институционалните решенија. Ова истражување има за цел да ја промени таа перцепција преку понуда на научно заснован и хумано-центричен дизајн, кој не е само естетски додаток, туку суштински дел од јавното здравје и социјалната кохезија во Тетово.

Врз основа на овие наоди, предлог-дизајнот е стратешки насочен кон решавање на мапираните проблеми преку следниве интервенции:

1. Замената на металот со rHDPE (рециклиран полимер) во контактните зони (седиштето) директно го решава проблемот со екстремното загревање, додека алуминиумската конструкција обезбедува долготрајност без корозија.
2. Модуларната, ребреста структура овозможува природна вентилација и брзо одводнување на дождовницата, со што се елиминира проблемот со влагата.
3. Интеграцијата на соларни панели и вазни за зеленило во самата структура на клупата директно одговара на највисоко рангираните потреби на граѓаните за „паметни“ и „зелени“ решенија.

6. АНАЛИЗА НА МАТЕРИЈАЛИ И ОДРЖЛИВОСТ

6.1. Критериуми за избор на материјали

Изборот на материјали претставува фундаментален аспект на одржливиот урбан дизајн, особено во контекст на умерено-континенталната клима на Тетово и неговата развојна урбана инфраструктура. Во рамките на овој проект, материјалите беа евалуирани според сеопфатен сет на критериуми кои ги опфаќаат техничките перформанси, еколошкото влијание, потребите за одржување и социјалната употребливост. Овие критериуми не се само функционални, туку се засновани на пристапот на животен циклус (Life Cycle Perspective) и на современите рамки за одржливост, обезбедувајќи дека избраните материјали се усогласени и со функционалните барања на јавната инфраструктура и со пошироките цели на одржливиот развој (Ashby, 2012; Cabeza et al., 2014). При селекцијата беше користена методологијата на компаративна анализа на материјали, каде што секој избор е оправдан преку неговиот "еколошки капацитет" и техничка издржливост.

6.1.1. Трајност и отпорност на временски услови

Урбаната опрема постојано е изложена на разновидни и често сурови услови на животната средина. Тетово, со својата специфична географска положба, се одликува со студени зими (со чести циклуси на замрзнување и одмрзнување) и топли лета со високо УВ-зрачење. Ова наложува избор на материјали со висока димензионална стабилност.

Во овој контекст, материјалите беа оценувани според нивната отпорност на корозија, распаѓање и искривување, со проектиран минимален надворешен животен век од 20 години. Посебен фокус беше ставен на хигроскопните својства на материјалите; способноста да ја задржат својата форма при нагли промени на влажноста на воздухот е клучна за долговечноста на споевите и фиксациите (Brischke & Meyer-Veltrup, 2016).

6.1.2. Одржливост и еколошко влијание

Во согласност со принципите на одржлив урбан развој, приоритет се даде на материјали со низок еколошки отпечаток. Ова подразбира употреба на обновливи, рециклабилни или биоразградливи материјали со ниска вградена енергија (embodied energy).

Перспективата на Оцена на животниот циклус (LCA) беше применета за да се проценат еколошките трошоци од "колепка до гроб". Анализата вклучува не само емисии при производство, туку и енергија потребна за транспорт; оттука, преферирањето на локални или регионални сировини директно придонесува за намалување на вкупниот јаглероден отпечаток на проектот (ISO 14040, 2006; Allwood et al., 2010).

6.2. Потреби за одржување

Јавната урбана опрема мора да биде дизајнирана со оглед на долгорочната економичност. Општините често функционираат со ограничени буџети, па изборот на материјали со ниски барања за одржување е практична неопходност.

Избраните материјали, како што се ThermoWood и rHDPE, беа евалуирани според нивната отпорност на нечистотии, графити и површинска деградација. Овде клучна е модуларноста на дизајнот — можноста за едноставна замена на само еден оштетен дел без да се реконструира целиот елемент, што значително ги намалува оперативните трошоци на комуналните претпријатија (Viitaniemi & Jämsä, 1999).

6.2.1. Безбедност и комфор на корисниците

Безбедноста и удобноста на корисниците се клучни за успешен дизајн на јавниот простор. Материјалите што доаѓаат во директен контакт со корисниците беа оценувани според нивниот термички комфор при екстремни климатски услови — избегнувајќи незащитени метални површини кои можат да станат премногу топли на сонце или престудени во зима. Други безбедносни аспекти вклучуваа тактилен комфор, мазни површини без остри рабови и нетоксични завршни премази, што е особено важно за деца и ранливи социјални групи. Беше земена предвид и огноотпорноста, бидејќи надворешната опрема е изложена на вандализам или случајно палење (Aluminium Association, n.d.; EN 13501-1, 2018).

6.2.2. Структурни перформанси

Урбаната опрема мора да биде структурно стабилна и способна да издржи значајни статички и динамички оптоварувања, како и да се спротивстави на механички напрегања како удар, свиткување и долготрајна експлоатација. При процесот на селекција, се евалуираа односот цврстина–тежина, ригидноста и отпорноста на деформација при надворешни услови. Посебно внимание беше посветено на однесувањето на споевите и интегритетот на прицврстувањата, особено кај модуларни или композитни дизајни (Ashby, 2012). Ова обезбедува трајност не само при климатски влијанија, туку и при интензивната секојдневна употреба карактеристична за фреквентните јавни простори во Тетово.

6.2.3. Естетска интеграција и урбан идентитет

Избраните материјали треба суптилно да придонесат кон визуелното унапредување на јавниот простор во Тетово. Материјалите со природна текстура, како дрвото со видлива шара, беа преферирани поради нивната визуелна топлина, тактилен квалитет и усогласеност со природниот и архитектонскиот контекст на Полошкиот регион. Приоритет беше даден на минималистички и безвременски естетски пристап за да се обезбеди долгорочна визуелна релевантност на опремата. Крајната цел е постигнување на естетска кохезија и визуелна адаптабилност во различни урбани контексти, вклучувајќи паркови, автобуски стојалишта и централни пешачки зони (Pallasmaa, 2005).

6.2.4. Економска исплатливост

Иако еколошките и техничките критериуми беа во фокусот на процесот на избор, економската изводливост исто така имаше одлучувачка улога во планирањето на одржлив буџет. Материјалите беа оценувани според нивната почетна набавна цена, но и според долгорочната вредност (Life Cycle Costing) и регионалната достапност. ThermoWood, на пример, беше идентификуван како економична алтернатива на тропските тврди дрва, нудејќи слична или подобра издржливост без високите еколошки или финансиски трошоци поврзани со увоз и транспорт на егзотични материјали (ThermoWood Handbook, 2003). Исто така, челикот, алуминиумот и рециклираните полимери беа разгледувани врз основа на нивната достапност на регионалниот пазар и можноста за користење на рециклирана суровина, со што се намалуваат вкупните трошоци и еколошкиот отпечаток.

6.2.5. Компаративна анализа преку дијаграми на Ешби (Ashby Charts)

За научна валидација на изборот, процесот на селекција се потпира на методологијата на Мајкл Ешби, која користи мулти-критериумска оптимизација на материјалите. Клучниот индекс за урбаната опрема е односот помеѓу специфичната цврстина и вградената енергија.

- **Алуминиум наспроти Челик:** Иако челикот има супериорен модул на еластичност ($E \sim 210 \text{ GPa}$), алуминиумот (серија бxxx) нуди подобар сооднос на цврстина и тежина (E/ρ). Ова е одлучувачки фактор за модуларни елементи каде што се бара лесна инсталација и намалени емисии при транспорт. Изборот на алуминиум овозможува конструкцијата да биде трипати полесна од челичната, без да се загрози структурниот интегритет при нормални експлоатациони оптоварувања.

- **Индекс на ефикасност:** Со користење на дијаграмите на Ешби, идентификувано е дека ThermoWood и gHDPE зафаќаат оптимална позиција во кластерот на материјали со низок јаглероден отпечаток, што ги прави примарни кандидати за контактните површини во овој проект.

Климатски специфики на Тетово и термичка експанзија

Тетово се карактеризира со екстремни температурни амплитуди, каде температурите варираат од -20°C во зимскиот период до над $+40^\circ\text{C}$ во летните месеци. Оваа температурна разлика од $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ има директно влијание врз стабилноста на материјалите, особено кај полимерите.

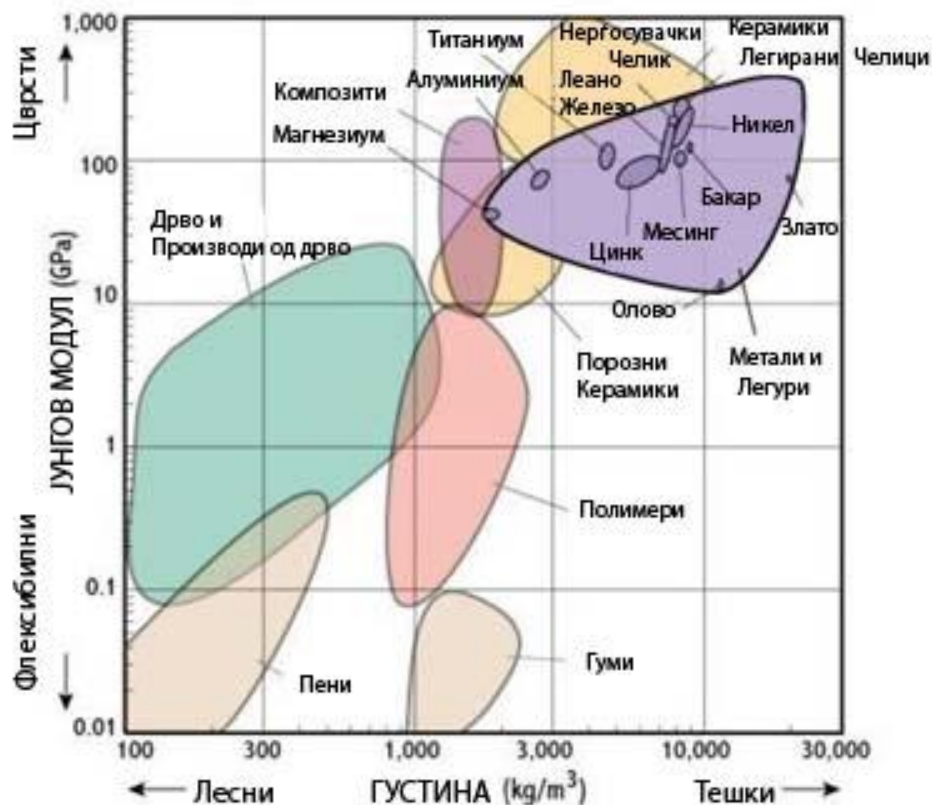
Предизвикот со gHDPE: Рециклираниот полиетилен (gHDPE) има висок коефициент на линеарно термичко ширење ($\alpha \approx 120 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), што кај елементи со поголема ДОЛЖИНА предизвикува значителни димензионални промени (Cardona et al., 2021). За да се спречи свиткување или пукање на материјалот, дизајнот на споевите на клупата предвидува долгнавести (овални) отвори за завртките. Оваа техничка мерка му овозможува на материјалот „да дише“ и да се шири/собира независно од металната потконструкција, со што се елиминираат внатрешните напрегања и се гарантира долговечноста на производот.

Биофилен дизајн и тактилна психологија на материјалите

Покрај техничките карактеристики, безбедноста и комфорот беа анализирани и преку призмата на Биофилниот дизајн — концепт кој ја нагласува човечката потреба за поврзување со природни материјали во урбаната средина.

- **Термичка инерција и сензорно искуство:** Материјалите како челикот и алуминиумот имаат висока термичка спроводливост, што ги прави непријатни (премногу топли или студени) за директен контакт. Спротивно на тоа, ThermoWood поседува ниска термичка спроводливост, со што нуди постојан тактилен комфор без оглед на надворешната температура (Kranert & Müller, 2012).

- **Психолошко влијание:** Текстурата и природната визуелна шара на дрвото докажано го намалуваат стресот кај корисниците во урбаните средини (Kellert & Calabrese, 2015). Со користење на ThermoWood на седиштата, се создава чувство на „топлина“ и безбедност, што ја поттикнува социјалната интеракција и го хуманизира јавниот простор во Тетово, трансформирајќи го од чист функционален премин во пријатно место за престој.

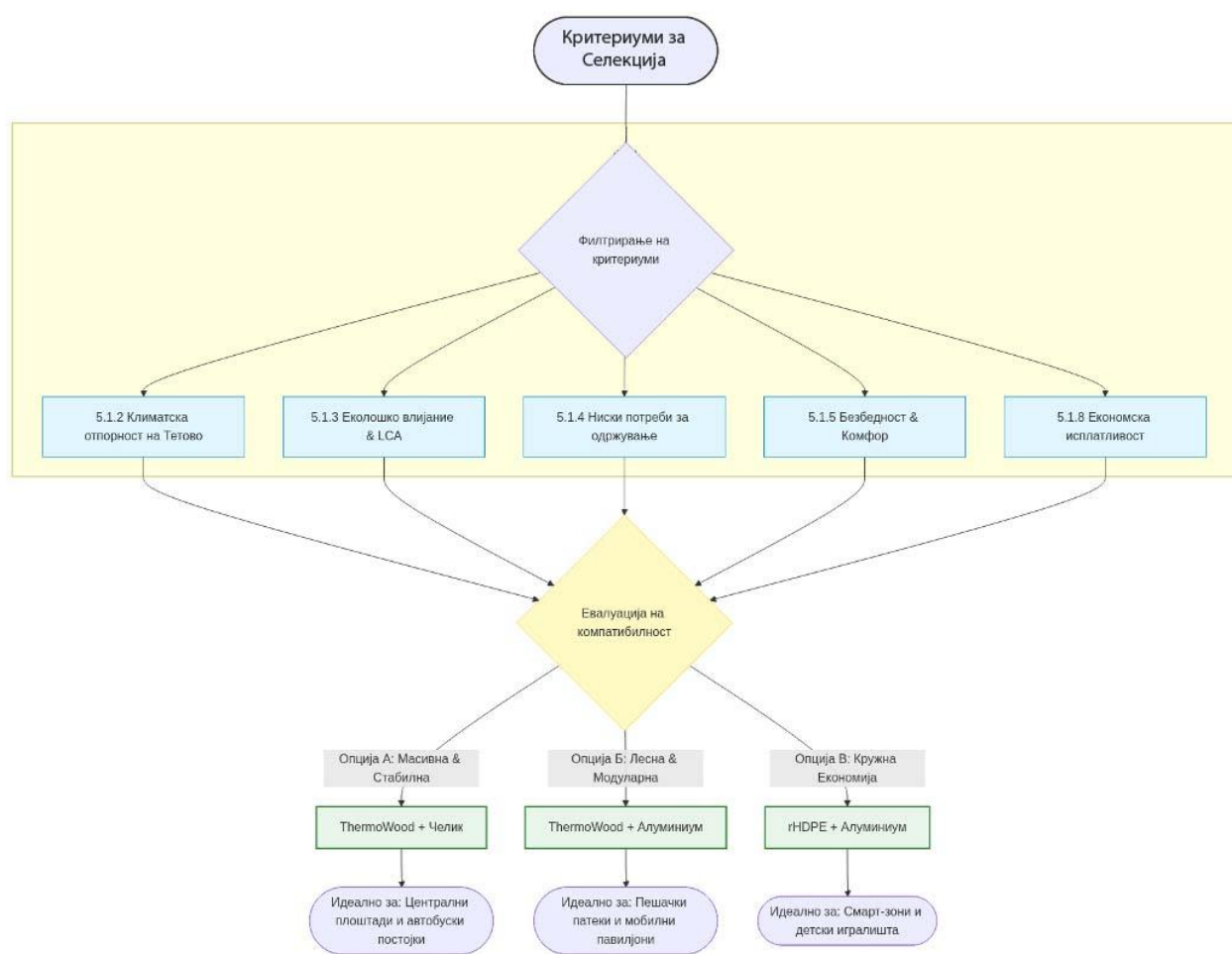


Слика 6.1 Дијаграм на Ешби (Materials Property Bubble Chart) кој го прикажува односот помеѓу Модулот на Еластичност (Young's Modulus - Y-оска, логаритамска скала) и Густината (Density - X-оска, логаритамска скала). На графиконот јасно се идентификувани фамилиите на избраните материјали за урбана опрема за Тетово: Метали, Дрво, и Полимери

Слика 6.1 претставува класичен дијаграм на Ешби кој се користи како примарен инженерски алат за оптимизација на изборот на материјали. За потребите на проектот за урбана опрема во Тетово, овој дијаграм ни овозможува да ги валидираме нашите избори преку визуелна споредба на нивните клучни физички својства:

1. **Избор за Структурниот Скелет (Челик наспроти Алуминиум):** Ако ја погледнеме елипсата означена како "Метали и легури" (со виолетова боја), гледаме дека Челикот (Нерѓосувачки челик) се наоѓа во самиот горен десен агол, што покажува дека е исклучително цврст, но и многу тежок. Подолу и полево во истата виолетова елипса, јасно се гледа **Aluminium**. Дијаграмот докажува дека Алуминиумот е подобар избор за нашите лесни, модулари структури, бидејќи нуди висок модул на еластичност ($E > 70$ GPa), но со значително помала густина во споредба со челикот.

2. **Избор за Контактни Површини (rHDPE наспроти ThermoWood):** На левата страна на графиконот, гледаме дека елипсата за "Дрво и производи од дрво" (зелена боја) и елипсата за "Полимери" (розова боја) делумно се преклопуваат на логаритамската скала за густина (помеѓу 300 и 1,000 kg/m^3) и имаат слични оски на цврстина во еден сегмент (помеѓу 1 и 10 GPa). Ова визуелно преклопување е нашиот научен доказ дека рециклираната пластика (rHDPE), која припаѓа на фамилијата Полимери, може успешно да го замени дрвото (ThermoWood) за седишта и потпирачи, бидејќи имаат слични механички и физички профили.



Слика 6.2. Дијаграм на одлучување за избор на материјали

6.3. Преглед на избраните материјали

6.3.1. ThermoWood: Термичка модификација и структурна супериорност

Термички модифицираното дрво (ThermoWood) претставува еден од клучните материјали во овој проект, избран поради неговата способност да ги надмине инherentните недостатоци на природното дрво во екстремни надворешни услови. Процесот на производство се заснова на контролирано загревање на дрвото на температури помеѓу 180°C и 230°C во безкислородна средина со примена на водена пара (Sandberg et al., 2017).

Хемиска трансформација и биолошка отпорност

Клучната предност на ThermoWood лежи во неговата молекуларна промена. За време на термичката обработка, доаѓа до деградација на хемицелулозата — полисахарид кој е примарен извор на храна за микроорганизмите. Со отстранување на овие хранливи материи, дрвото станува инертно и постигнува висока биолошка издржливост (Класа 1-2 според EN 350-2), без потреба од примена на токсични хемиски биоциди или тешки метали (Hill, 2006).

Ова го прави материјалот целосно безбеден за корисниците во фреквентните јавни простори во Тетово.

Хидрофобност и димензионална стабилност

Термичката модификација драстично го менува односот на дрвото со влагата. Преку редукција на хидроксилните групи (-ОН) во клеточниот сид, се намалува хигроскопноста на материјалот. Рамнотежниот процент на влага кај ThermoWood е за 50% понизок во споредба со необработеното дрво (ThermoWood Association, 2003). Во контекст на климатските услови во Тетово, каде есенските врнежи и зимските мразеви предизвикуваат нагли промени во волуменот на дрвото, ThermoWood нуди супериорна димензионална стабилност. Намалувањето на попречното и надолжното ширење за над 60% ги заштитува структурните споеви на урбаната опрема од олабавување и пукање (Esteves & Pereira, 2009).

Термички карактеристики и кориснички комфор

Од аспект на корисничкото искуство, ThermoWood нуди специфична предност во однос на металите и композитите. Поради промената во клеточната структура, неговата топлотна спроводливост е намалена за приближно 20-25% (Sandberg & Kutnar, 2016). Ова својство е од критично значење за урбаната опрема во Тетово за време на екстремните летни горештини; материјалот побавно ја акумулира топлината, овозможувајќи пријатна површинска температура за седење дури и при директна изложеност на сонце.

Табела 6.1 Карактеристики и ефекти на термичката модификација кај ThermoWood

Параметар	Карактеристики и технички ефекти
Влага и димензионална стабилност	Намалување на рамнотежниот процент на влага во дрвото за околу 50% во споредба со необработеното дрво. Стабилната содржина на влага (4–6%) ги намалува димензионалните промени (набубрување и собирање) за над 60%.
Боја и естетски изглед	Хомогена златно-кафеава нијанса низ целиот негов пресек, која визуелно ги репродуцира карактеристиките на егзотичните дрвни видови без еколошките штети од дефорестација.
Густина и структура	Намалување на густината на дрвото за 5–10% поради деструкција на хемицелулозата. Клеточната структура претрпува промени слични на природното стареење, со намалена хигроскопност.
Механички својства	Цврстина: Бринел цврстината благо се зголемува при умерени температури. Јачина на свиткување: Се намалува за 10–30%, поради што не се користи за примарни носечки конструкции. Јачина на расцепување: Опаѓа за 20–40% (задолжително преддупчење при монтажа).
Пропустливост и водоотпорност	Апсорпцијата на течна вода е намалена до пет пати во однос на конвенционално сушеното дрво, овозможувајќи одлична атмосферска отпорност.
Термички својства	Топлинската спроводливост е намалена за 10–30%, правејќи го материјалот исклучително пријатен за седење при екстремно високи или ниски температури.

Параметар	Карактеристики и технички ефекти
Издржливост и биолошка отпорност	Постигнува Класа 1-2 на издржливост (EN 350-2). Исклучително висока отпорност на габи, гниење и инсекти (освен на термити).
УВ деградација	Површината на ThermoWood посивува со текот на времето под влијание на УВ зрачењето доколку не е заштитена со УВ-филтри (масла или пигментирани акрилни премази).

Студија на случај: High Line Park, Њујорк (САД)

Успешната примена на ThermoWood е евидентна во бројни светски метрополи. Проектите како High Line во Њујорк и јавните простори во Хелсинки потврдуваат дека овој материјал не е само еколошка алтернатива, туку и инженерско решение кое ги намалува трошоците за замена на урбаната опрема.

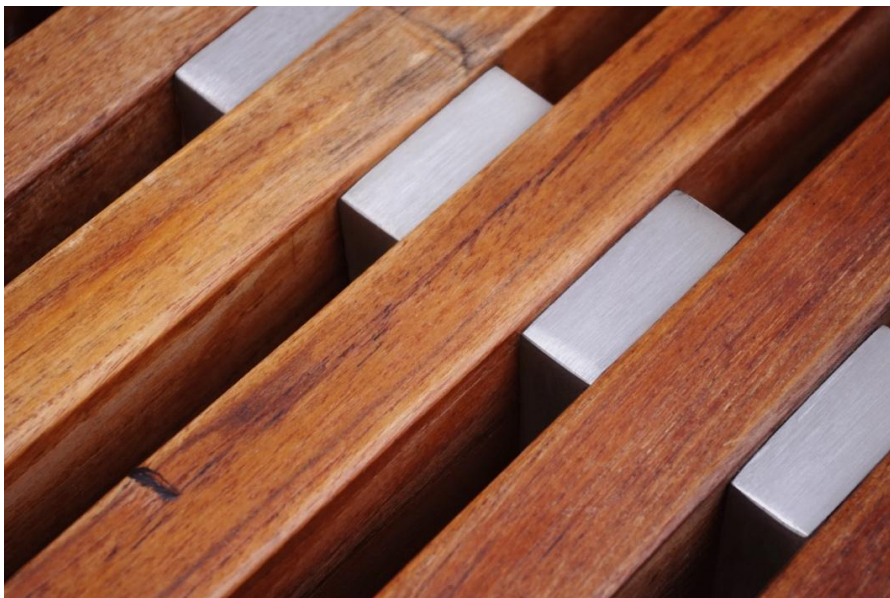
High Line Park, е еден од најпознатиот пример за модерна урбана регенерација во светот. Користи дрвени платформи и клупи интегрирани во челична структура. Иако првично користеа тропско дрво (Ipe), во поновите фази и реставрации се фаворизираат термички модифицирани дрва поради еколошките сертификати.

Проектот High Line во Њујорк демонстрира како термички обработеното дрво може да издржи екстремна фреквенција на посетители и силни температурни осцилации, истовремено одржувајќи го естетскиот интегритет во комбинација со индустриски челик.

На слика 6.3 е прикажан специфичниот „reel-up“ дизајн на клупите, кој овозможува мобилијарот визуелно да произлегува од самата пешачка патека. Според техничките спецификации на (TerraMai, 2025), за овие елементи е користено рекултивирано тропско дрво (Ipe), кое нуди супериорна отпорност на абење и атмосферски влијанија без потреба од дополнителна хемиска заштита.



Слика 6.3 Приказ на урбан мебел во High Line Park изработен од рекултивирано тропско дрво (Извор: TerraMai, 2025).



Слика 6.4 Детален приказ на материјализацијата и текстурата на дрвените елементи (2025).

Овој детален приказ во слика 6.4 ги илустрира прецизните споеви помеѓу дрвените летви и металната потконструкција. Овој пристап е во согласност со инженерските решенија за термичка експанзија, каде што малите меѓупростори овозможуваат дишење на материјалот при екстремни температурни промени (TerraMai, 2025). Ваквата материјализација придонесува за тактилен комфор кој е суштински за позитивното корисничко искуство во јавниот простор.

6.3.2. Железо / Челик: Структурна улога, заштита и рециклабилност

Челикот претставува еден од најчесто користените материјали во јавната сфера благодарение на неговата исклучителна механичка цврстина, жилавост и структурна стабилност. Во дизајнот на урбаната опрема за Тетово, челикот ја игра улогата на носечки скелет, обезбедувајќи отпорност на вандализам и долгорочни оптоварувања (AISI, n.d.-a).

Од еколошка гледна точка, тој е совршен претставник на кружната економија бидејќи може бесконечно да се рециклира без деградација на неговите својства (AISI, n.d.-b). Во процесот на рециклирање во електролачни печки (EAF) се користи до 74% помалку енергија во однос на примарното производство од руда, со што јаглеродниот отпечаток се намалува за повеќе од половина (MachineMFG, n.d.). За урбаниот дизајн во Тетово се предвидува задолжителна трислојна заштита на челикот од корозија:

1. **Топло поцинкување:** Обезбедува супериорна бариера и катодна заштита од влага и соли за одмрзнување.
2. **Нанесување на антикорозивен прајмер.**
3. **Електростатско нанесување на полиестерски прав:** Се пече на температура од 180°C - 200°C, создавајќи финиш отпорен на УВ-зраци, гребење и вандализам.

Структурна улога, заштита и рециклабилност

Челикот (специфично конструктивниот челик S235JR) е избран како примарен материјал за носечката конструкција на урбаната опрема поради неговиот висок модул на еластичност ($E \sim 210 \text{ GPa}$) и супериорната јачина на затегнување. Во овој проект, челикот не се третира само како статички елемент, туку како материјал со висок потенцијал за рециклирање во рамките на кружната економија.

Системи за дуплекс заштита (Duplex Systems)

За да се обезбеди животен век од над 20 години во урбаната средина на Тетово, каде што присуството на корозивни агенси (како што се аеросолите и солите за одмрзнување во зима) е зголемено, се применува т.н. **Дуплекс систем**. Овој систем подразбира комбинација од:

- **Топло поцинкување (Hot-Dip Galvanizing):** Создавање на металуршка врска помеѓу цинкот и челикот, што нуди и бариерна и катодна заштита (ISO 1461).
- **Електролататско прашкасто премачкување (Powder Coating):** Овој слој не само што ја дава финалната естетика (RAL боја), туку дополнително го заштитува цинкот од оксидација, продолжувајќи го векот на заштита за 1.5 до 2.3 пати повеќе отколку ако се користат посебно (Van Eijnsbergen, 1994).

Рециклабилност и „Cradle-to-Cradle“ принцип

Челикот е еден од ретките материјали кој може да се рециклира бесконечно без губење на неговите механички својства. Во контекст на овој докторат, употребата на челик поддржува:

- **Намалување на вградената енергија:** Рециклирањето на челик троши до 75% помалку енергија во споредба со производството од железна руда.
- **Демонтажност (Design for Disassembly):** Конструкцијата е проектирана со механички врски (завртки), што овозможува на крајот од животниот циклус, челичните делови лесно да се одвојат од дрвото и пластиката и целосно да се реинтегрираат во металуршкиот процес.

Студија на случај: Реконверзија на индустриското наследство: Парк Цолферајн (Zollverein Park), Есен (Германија)

Проектот за уредување на отворените простори на локалитетот на светското наследство на УНЕСКО, Цолферајн во Есен, претставува модел на извонредност за трансформација на пост-индустриски зони (brownfields) во активни јавни простори. Овој проект, реализиран во неколку фази помеѓу 2005 и 2022 година, покажува како индустриските материјали како челикот и бетонот можат да се искористат за зачувување на колективната меморија на еден град (Planergruppe Oberhausen, 2017).

Во овој проект, употребата на челикот не е само естетски избор, туку директна врска со историјата на регионот Рур како центар на тешката индустрија. Елементите на урбаната опрема, како рекреативните платформи и системите за ориентација, се засноваат на структурната издржливост на челикот со висок модул на еластичност ($E \sim 210 \text{ GPa}$), што гарантира долготрајност во средини со висока фреквенција на движење (Planergruppe Oberhausen, 2017).



Слика 6.5 Рекреативни дрвени платформи врз челична носечка конструкција во паркот Цолферајн, Есен. Овој детал ја илустрира интеграцијата на современите елементи врз постојната индустриска инфраструктура на железничките шини. (Извор: Planergruppe Oberhausen, 2017; Фото: Thomas Mayer).

На сликата 6.5 се прикажани големи дрвени платформи монтирани врз челични носечки конструкции, поставени долж поранешните индустриски железнички шини. Во позадина доминираат монументалните структури за транспорт на јаглен. Овде се воочува употребата на структурен челик за подигнување на платформите, со што се зачувува оригиналниот слој од камења (баласт) на шините. Челикот овозможува прецизна монтажа и висока носивост. Овој пример покажува како преостанатите метални елементи од индустриските зони во Тетово можат да се рециклираат за создавање „острови“ за одмор, без да се уништи историскиот контекст на локацијата.

Слика 6.6 прикажува простор за активна рекреација каде се интегрирани бетонски елементи со свиткани челични цевки (урбана опрема за вежбање). Употребени се галванизирани челични цевки кои се отпорни на корозија и интензивно користење. Нивната форма е омаж на индустриските цевководи кои некогаш поминувале низ целиот комплекс. Овој модел илустрира како напуштените простори (brownfields) можат да се претворат во зони за млади, користејќи долготрајни материјали кои бараат минимално одржување.

Слично како во случајот со Есен, каде челичните елементи служат како колективна меморија, и во предложениот проект за Тетово, користењето на урбана опрема со метална структура овозможува креирање на нов урбан идентитет кој го почитува работничкото минато на градот, истовремено нудејќи структурна издржливост соодветна на локалните климатски услови.



Слика 6.6 Зона за физички активности (Parkour) во паркот Цолферајн. Употребата на галванизирани челични цевки го рефлектира формалниот јазик на индустриските цевководи карактеристични за локалитетот. (Извор: Planergruppe Oberhausen, 2017; Фото: Claudia Dreyße).

6.3.3. Алуминиум: техничка и еколошка анализа како конструктивен материјал

Алуминиумот претставува еден од најзастапените материјали во современата урбана опрема, пред сè поради неговата природна отпорност на корозија и способноста за целосна рециклабилност без губење на механичките својства. Како што наведува Ashby (2011), изборот на овој материјал во јавните простори е во директна корелација со потребата за долговечност и минимално одржување.

1. Структурна ефикасност и специфична цврстина

Иако челикот поседува повисок модул на еластичност, алуминиумот нуди супериорен сооднос помеѓу цврстината и густината, познат како индекс на специфична цврстина. Според истражувањата на **Stojanović (2019)**, оваа карактеристика овозможува производство на лесни модуларни елементи кои го олеснуваат транспортот и монтажата, со што директно се намалува вкупната потрошувачка на енергија во фазата на инсталација.

2. Еколошки отпечаток и циркуларна економија

Клучниот фактор за одржливоста на алуминиумот лежи во неговиот животен циклус (LCA). Додека примарното производство на алуминиум е енергетски интензивно, секундарниот (рециклиран) алуминиум бара само 5% од енергијата потребна за негово

првично добивање. Miller (2023) нагласува дека инкорпорирањето на рециклиран алуминиум во урбаната инфраструктура е клучна стратегија за драстично намалување на вредностите на GWP (Global Warming Potential).

3. Отпорност на атмосферски влијанија

Алуминиумот природно формира тенок, но густ оксиден слој кој спречува понатамошна корозија. Оваа пасивна заштита е од суштинско значење за урбани средини со екстремни климатски амплитуди. Како што посочуваат Prasad & Snow (2006), ваквата природна издржливост ја елиминира потребата од токсични заштитни премази, што дополнително го намалува еколошкото влијание во текот на експлоатациониот век на опремата.

4. Студија на случај: Vestre и употребата на рециклиран алуминиум (Hydro CIRCAL)

Примерот на норвешката компанија Vestre претставува водечки глобален модел за примена на принципите на циркуларната економија во индустријата за урбана опрема. Нивната стратегија се заснова на користење на алуминиум со екстремно низок јаглероден отпечаток, познат како Hydro CIRCAL, кој содржи најмалку 75% рециклиран алуминиум од претходно користени производи (post-consumer scrap). Како што истакнуваат Vestre (2024), овој пристап овозможува драстично затворање на циклусот на материјалите, трансформирајќи го отпадот во висококвалитетни конструктивни елементи.

Клучни карактеристики на примерот:

- **Намалување на емисиите на:** Според податоците на Vestre (2024), употребата на рециклиран алуминиум Hydro CIRCAL генерира само 2.3 kg по килограм материјал, што е значително под светскиот просек од 16.7 kg за примарен алуминиум. Ова намалување од приближно 86% е во директна согласност со методологиите за проценка на животниот циклус (LCA) предложени од Ashby (2011), кој го потенцира рециклирањето како најефикасен метод за намалување на вградената енергија.
- **Инженерска оптимизација преку екструзија:** Алуминиумот кај производите на Vestre се обработува преку напредна технологија на екструзија, која овозможува производство на лесни, но структурно цврсти профили. Оваа леснотија на материјалот придонесува за намалување на енергијата потребна за транспорт и овозможува брза и ефикасна монтажа на терен (Stojanović, 2019). Ваквите карактеристики го прават алуминиумот супериорен во однос на потешките материјали при креирање на модуларни системи.
- **Принципот на „Дизајн за долговечност“:** Во согласност со теоретските рамки на Prasad & Snow (2006) за одржливост во урбани средини, Vestre применува дизајн кој овозможува лесно расклопување и поправка. По завршувањето на функционалниот век, алуминиумските компоненти можат повторно да се рециклираат без губење на нивните механички карактеристики, со што се остварува целосен циркуларен процес.

Примерот на Тајмс Сквер (Слика 6.7) ја потврдува ефикасноста на алуминиумот како материјал за урбана опрема. За разлика од фиксните челични клупи, серијата April GO со алуминиумска рамка овозможува:

- **Мобилност:** Поради ниската специфична тежина на алуминиумот, корисниците можат сами да ја реорганизираат социјалната зона.
- **Издржливост:** И покрај помалиот модул на еластичност во споредба со челикот, соодветното димензионирање на алуминиумските профили обезбедува потребна цврстина за јавна употреба.
- **Отпорност:** Алуминиумот е идеално решение за вакви интензивни средини бидејќи не кородира и ја задржува својата естетска вредност со минимално одржување.“



Слика 6.7 Употреба на серијата *April GO* (Vestre) на Тајмс Сквер, Њујорк. Овие елементи се изработени со алуминиумска конструкција, што овозможува нивна лесна манипулација и мобилност во простор со екстремно висока фреквенција на луѓе. (Извор: Vestre.com; Фото: Times Square Public Space).

6.3.4. Рециклиран полиетилен (rHDPE): Циркуларна економија во урбаниот дизајн

Употребата на рециклиран полиетилен со висока густина (rHDPE) во контекст на Тетово претставува стратешки одговор на предизвиците со менаџирање на пластичниот отпад во Полошкиот регион. rHDPE се добива преку преработка на пост-потрошувачки отпад (пр. амбалажи од детергенти, шишиња за млеко), кој се сепка, чисти и повторно се екструдира во профили со висока издржливост (Hopewell et al., 2009).

Рециклираниот полиетилен со висока густина (rHDPE) претставува синтетички материјал добиен преку механичко рециклирање на потрошувачки и индустриски пластичен отпад. Во контекст на одржливиот урбан дизајн, овој материјал се обработува преку истиснување (екструзија) во форма на хомогени профили со текстура која го заменува дрвото. Пренасочувањето на HDPE отпадот од локалните текови на Тетово во долготрајна урбана опрема претставува директна примена на принципот „отпад во ресурс“ (waste-to-asset) (Hopewell et al., 2009).

Технички карактеристики и хемиска инертност

Во Табела 6.2 се прикажани клучните технички карактеристики и еколошките ефекти на рециклираниот полиетилен со висока густина (rHDPE) како примарен материјал

за изработка на урбана опрема. Анализата ги истакнува супериорните својства на материјалот во поглед на отпорноста на влага и ниски температури, поткрепени со релевантни научни истражувања (Peacock, 2000; Crawford & Throne, 2001). Истовремено, табелата ги адресира и механичките ограничувања, како што е релативно нискиот еластичен модул, што наметнува специфични решенија во дизајнот преку употреба на метални подконструкции. Посебен акцент е ставен на одржливоста, каде што се евидентни значајните енергетски заштеди до 88% во споредба со девствениот полимер, со што се потврдува улогата на rHDPE во поттикнувањето на кружната економија и долготрајната заштита на урбаните простори (Hopewell et al., 2009; Andrady et al., 2003).

Табела 6.2 Карактеристики и ефекти на rHDPE како материјал за урбана опрема

Параметар	Карактеристики и технички ефекти
Однесување со влага и стабилност	Целосно нехигроскопен материјал (апсорпција на влага < 0.1%). Не подлежи на гниење, мувла или распаѓање под влијание на постојана влага (Peacock, 2000).
Боја и естетски изглед	Хомогена пигментација низ целиот пресек на материјалот. Гребнатините во јавниот простор остануваат визуелно неприметни.
Густина и структура	Густината варира помеѓу 930–960 kg/m ³ (Soni et al., 2021). Има одлична отпорност на удар и висока жилавост на ниски температури до -40°C (Crawford & Throne, 2001).
Механички својства	Цврстина на затегнување: Умерена (20–30 МПа). Еластичен модул: Низок (800–1200 МПа), склонен кон деформација. Мора да се користи на алуминиумска подконструкција (Peacock, 2000; Ehrenstein, 2001).
Термички својства	Висок коефициент на топлинско ширење (6.0×10^{-5} до 11.0×10^{-5} /°), што наложува дизајнирање на флексибилни споеви (SpecialChem, 2025).
Издржливост и заштита	Задолжително додавање на УВ-стабилизатори (HALS) за спречување фотодеградација и бледнеење на бојата под влијание на сонцето (Andrady et al., 2003; Dimassi et al., 2022).
Еколошки карактеристики	Процесот на рециклирање користи до 88% помалку енергија во споредба со производството на девствен (virgin) полиетилен (Intco, 2025; Hopewell et al., 2009).

Глобални примери на примена

Проектот „Print Your City“: Трансформација на пластичниот отпад преку 3D технологија Проектот на студиото *The New Raw*, прикажан на слика 6.8, претставува револуционерен пристап кон урбаната опрема преку употреба на рециклиран полиетилен со висока густина (rHDPE). Наместо традиционалното леење, овој концепт користи роботско 3D принтање за директно претворање на пластичниот отпад од домаќинствата во функционални урбани мебелни елементи.

Проектот ги вклучува граѓаните во процесот на рециклирање, каде локалниот отпад се користи за подобрување на локалниот јавен простор. Технологијата на 3D принтање овозможува создавање на комплексни, органски форми кои ја оптимизираат ергономијата и материјалната потрошувачка, што е тешко изводливо со традиционални материјали. Користениот rHDPE е екстремно отпорен на атмосферски влијанија, што го прави идеален за долготрајна употреба во урбани средини без потреба од скапо одржување.



Слика 6.8 Прототип на урбана клупа од проектот „Print Your City“ (The New Raw), изработена преку 3D принтање на рециклиран HDPE пластичен отпад. Дизајнот интегрира функционалност и одржливост, овозможувајќи персонализирани форми со минимален еколошки отпечаток. (Извор: UrbanNext / <https://urbannext.net/print-your-city/>).

6.3.5. Компаративна анализа на селектираните материјали и нивните комбинации

Преку компаративната анализа во Табелите 6.3 и 6.4, евидентно е дека изборот на материјали за урбана опрема претставува баланс помеѓу структурната јачина, термичкиот комфорт и еколошката одржливост. Додека комбинацијата на ThermoWood и челик (Опција А) нуди супериорна цврстина и традиционална естетика за масивни инсталации, Опцијата В (rHDPE + алуминиум) се издвојува како технолошки најнапредно и најодржливо решение. Оваа комбинација го решава проблемот со високиот јаглороден отпечаток и потребата од често одржување, нудејќи највисока отпорност на вандализам и графити. Имено, алуминиумот ја обезбедува неопходната структурна стабилност која му недостасува на рециклираниот полиетилен, додека rHDPE нуди подобар термички комфорт за корисниците во споредба со металите, што го прави овој спој идеален за високофреквентни смарт-зони и изложени урбани средини.

Табела 6.3 Компаративна анализа на поединечните материјали

Параметар	ThermoWood (бор/јасен)	Конструктивен челик (S235JR)	Алуминиум (Серија 6xxx)	Рециклиран полиетилен (rHDPE)
Изддржливост	Висока на отворено; да се избегнува контакт со земја.	Исклучително висока; бара антикорозивна заштита.	Исклучително висока; природно отпорен метал.	Исклучително висока; инертен на вода, киселини и соли.
Тежина	Ниска до средна (~400–600 kg/m³)	Висока (~7850 kg/m³)	Ниска (~2700 kg/m³)	Средна (~950 kg/m³)
Структурна јачина	Ниска до умерена.	Исклучително висока (360–510 MPa).	Средна до висока (одличен однос јачина–тежина).	Ниска (не е за носечки структури, подложен на виткање).
Естетски изглед	Топол, природен, органски изглед.	Индустриски, солиден изглед.	Модерен, високопрецизен изглед.	Синтетички, хомоген изглед во повеќе бои.
Одржување	Ниско до средно (козметичко масло по желба).	Средно (периодична инспекција на пластификацијата).	Ниско (минимално чистење, без ризик од рѓа).	Практично нула (лесно чистење на нечистотии и графити).
Термички комфор	Исклучителен (секогаш пријатен за седење).	Лош (се вжештува на сонце, се замрзнува во зима).	Лош (брзо ги пренесува температурите).	Добар (умерен капацитет, пријатен на допир).
Рециклирање	Да (биоразградлив).	100% рециклирачки без губење квалитет.	100% рециклирачки (заштеда на 95% енергија).	100% рециклирачки; лесно се преработува.
Вградена енергија	Многу ниска (~1.8–2.5 MJ/kg).	Висока (~25–35 MJ/kg за примарен челик).	Исклучително висока (~150–200 MJ/kg за примарен Al).	Многу ниска (~8–12 MJ/kg за рециклиран процес).
Работен век	15–30 години.	50+ години (со добра заштита).	40+ години.	20–40 години.

Табела 6.4 Споредба на финалните комбинации на материјали за урбана опрема

Критериум	Опција А: ThermoWood + Челик	Опција Б: ThermoWood + Алуминиум	Опција В: rHDPE + Алуминиум
Структурна стабилност	Исклучителна; за масивни инсталации и автобуски постојки.	Добра; погодна за лесни, модулари структури.	Одлична; алуминиумот го компензира флексибилното однесување на rHDPE.
Тежина на производот	Тежок систем (висока безбедност од кражба).	Лесен систем (брза инсталација и транспорт).	Средно-лесен систем.
Заштита од вандализам	Исклучителна отпорност на физички удари.	Средна отпорност (подложност на гребење кај алуминиумот).	Исклучително висока (пластиката е жилава и отпорна на удари).

Критериум	Опција А: ThermoWood + Челик	Опција Б: ThermoWood + Алуминиум	Опција В: гHDPE + Алуминиум
Долгорочно одржување	Средно; бара грижа за пластификацијата.	Ниско; нема корозија на металот.	Речиси нема одржување; највисока оцена за отпорност на графити.
Вграден CO ₂ отпечаток	Низок до среден.	Среден (низок со рециклиран алуминиум).	Најнизок јаглероден отпечаток (две секундарни суровини).
Најсоодветна намена	Централни плоштади и фреквентни паркови со ризик од вандализам.	Пешачки патеки, паркови, павилјони и патеки во природа.	Високофреквентни смарт-зони, игралишта, плажи и автобуски постојки во Тетово.

6.4. Животен циклус и еколошко влијание

За да се обезбеди развој на навистина еколошки одржлива урбана опрема во Тетово, неопходно е критички да се анализираат еколошките импликации низ сите фази од животниот век на материјалите. Имплементацијата на методологијата за Оцена на животниот циклус (LCA) овозможува прецизно мерење на сите импути и аутпути од „колепка до гроб“ (Cradle-to-Grave), односно од експлоатација на суровините до конечно рециклирање или депонирање (ISO 14040, 2006).

6.4.1. Фази на животниот циклус на урбаната опрема

Процесот на LCA за избраните материјали ги дефинира следните четири клучни фази:

1. **Фаза на набавка (A1-A3):** Екстракција на боксит и железна руда, сеча на шуми и примарна преработка. Во оваа фаза се генерираат најголемите количини на емисии на стакленички гасови кај металите (Allwood et al., 2010).
2. **Фаза на производство (A4-A5):** Термичка обработка на дрвото со водена пареа, поцинкување и електростатско пластифицирање на металите, рециклирање и екструдирање на гHDPE, транспорт до локацијата во Тетово и склопување на мебелот.
3. **Фаза на употреба (B1-B5):** Потребни од чистење, периодично нанесување заштитно масло за дрвото и повремени инспекции на споевите (Viitaniemi & Jämsä, 1999).
4. **Крај на животниот век (C1-C4):** Расклопување на модулите, целосно топење и рециклирање на челичните и алуминиумските делови со минимална потрошувачка на енергија, како и повторно мелење на гHDPE или биолошко разградување на ThermoWood.

6.4.2. Еколошко влијание на избраните материјали

- **ThermoWood:** Претставува јаглероден апсорбер (carbon sink) во текот на својот раст во шумите. Процесот на термичка модификација бара енергија, но бидејќи не се користат никакви хемиски супстанции, неговиот еко-профил е супериорен. На крајот на животниот век, тој не претставува токсичен отпад и може целосно да се разгради во природата.

- **Челик:** Процесот на примарно производство е висок генератор на CO₂. Сепак, неговата долговечност и високата стапка на рециклирање во локалните железарници во регионот драстично ги компензираат почетните емисии, затворајќи го материјалниот круг во согласност со принципите на циркуларната економија (World Steel Association, 2023).
- **Алуминиум:** Иако примарниот алуминиум има највисок еколошки отпечаток поради процесот на електролиза, користењето на легури со висок процент на рециклирана содржина ги намалува емисиите за 95%. Неговата леснотија исто така ги намалува емисиите во текот на транспортната фаза.
- **rHDPE:** Претставува еколошки супериорна алтернатива бидејќи директно го намалува количеството на пластичен отпад на локалните депонии. Преко замена на девствениот полимер со рециклиран, емисиите на стакленички гасови се намалуваат за околу 60-70%. Неговата долговечност спречува потреба од предвремени замени на материјалот во урбаната опрема.

Табела 6.5 Клучни еколошки индикатори на избраните материјали

Категорија на влијание	ThermoWood (по m3)	Мек челик (по тон)	Рециклиран челик (по тон)	Рециклиран алуминиум (по тон)	Рециклиран HDPE (по тон)
Вградена енергија (Embodied Energy)	~1.8 – 2.5 MJ/kg	~20 – 25 MJ/kg	~8 – 11 MJ/kg	~10 – 15 MJ/kg	~8 – 12 MJ/kg
Јаглероден отпечаток (\$CO_2e\$)	~100 – 150 kg CO ₂ e/m ³	~1.8 – 2.0 t CO ₂ e/t	~0.6 – 0.8 t CO ₂ e/t	~0.5 – 1.2 t CO ₂ e/t	~0.4 – 0.9 t CO ₂ e/t
Стапка на рециклирање	Ниска (биоразградливост)	Висока (~85%)	Исклучително висока (>90%)	Исклучително висока (>95%)	Висока (~80-90%)

Извори: Environmental Product Declarations (EPDs), база на податоци ICE v3.0, индустриски публикации за одржливост.

6.5. Локално набавување и одржување

Успешната имплементација на проектот за урбан мебел во Тетово зависи од практичната изводливост на дизајнот во реалниот локален контекст. Тоа подразбира детална анализа на регионалните синџири на снабдување со цел намалување на транспортните трошоци и емисии, како и дефинирање на јасен протокол за одржување кој е усогласен со капацитетите на општинските јавни претпријатија.

6.5.1. Локално набавување

Регионалната достапност на материјалите е клучна за елиминирање на скапиот увоз и поттикнување на локалната економија:

- **ThermoWood:** Како технологија и готов производ, тој денес е широко достапен преку дистрибутивните мрежи во Југоисточна Европа (Бугарија, Грција и Турција). Ова овозможува брза испорака и избегнување на еколошките штети поврзани со транспорт на тропско дрво од Азија или Јужна Америка (ThermoWood Handbook, 2003).

- **Челик:** Металната индустрија е традиционално развиена во Северна Македонија (со производствени капацитети во Скопје и околината). Постојат бројни локални претпријатија и занаетчиски работилници во Тетово кои поседуваат капацитет за прецизно сечење, заварување, топло поцинкување и пластифицирање на челичните компоненти (World Steel Association, 2023).
- **Алуминиум:** Иако суровиот примарен алуминиум се увезува, во Македонија и соседството постојат големи капацитети за екструдирање на архитектонски профили. Локалните дистрибутери во Тетово можат брзо да обезбедат стандардни профили, што ја олеснува изработката на прототипови.
- **Рециклирана пластика (rHDPE):** Постојат регионални иницијативи и приватни капацитети во Северна Македонија кои се занимаваат со рециклирање на пластика и производство на еко-профили. Ова овозможува целосно затворање на локалниот циклус на отпад во самиот град Тетово или полошкиот регион.

6.5.2. Одржување и протоколи за заштита

Дизајнот на урбаната опрема мора да се планира во услови на ограничени општински ресурси за одржување во Тетово. Избраните материјали нудат исклучително ниски трошоци во текот на експлоатацијата:

- **ThermoWood:** Поради намалената хигроскопност, дрвото нема да претрпи структурни деформации или пукања. Естетското посивување под дејство на сонцето е природен процес кој не влијае врз механичката цврстина на дрвото. Сепак, за одржување на оригиналната топла кафеава боја, се препорачува едноставно чистење и премачкување со природно пигментирано масло (на базна основа) еднаш на секои две до три години (Viitaniemi & Jämsä, 1999).
- **Челик:** Правилно пластифицираниот и поцинкуван челик не бара никакво тековно одржување, освен редовно миење со вода под притисок за отстранување на пращината и наслагите од аерозагадувањето во Тетово. Доколку се појави механичко оштетување на слојот од пластификација (како резултат на вандализам), оштетеното место мора веднаш да се третира со антикорозивен спреј и лак за да се спречи појава на локална рѓа.
- **Алуминиум:** Како најсоодветен материјал за лесни, модуларни и крајбрежни инсталации покрај реката Пена, алуминиумот бара минимално одржување. Анодираниот слој е отпорен на гребење, соли и атмосферски киселини. Неговата природна отпорност на корозија го елиминира ризикот од естетска и структурна деградација на местата каде што опремата е во директен контакт со влагата од почвата или атмосферата.
- **Рециклиран полиетилен (rHDPE):** Како материјал за седишта и потпирачи, rHDPE не бара никакво козметичко одржување или заштитни масла. Тој е целосно инертен кон соли за одмрзнување, кисели дождови и аерозагадувањето карактеристично за Тетово. Чистењето се врши едноставно со вода под притисок, а неговата нехомогена површина оневозможува трајно лепење на плакати и графити, што го прави најисплатлива опција од аспект на долгорочните општински трошоци.

7. РАЗВОЈ НА ДИЗАЈН КОНЦЕПТОТ (The Tetovo Rib)

7.1. Цели и стратегија на дизајнот

Главната цел на овој проект е развој на мултифункционален, одржлив систем на урбана опрема прилагоден на специфичните социо-еколошки потреби на Тетово. Дизајнот има за цел да ја зголеми употребливоста на јавните простори преку интеграција на клучни елементи како што се седишта, управување со отпад, урбано зеленило и елементи на обновлива енергија. Опремата е визуелно и конструктивно приспособлива на различни урбани контексти – градски плоштади, паркови и автобуски постојки – обезбедувајќи максимална функционална корист и долгорочна естетска вредност во полошкиот регион.

Стратегијата се темели на пристап насочен кон корисникот (Human-Centered Design), комбиниран со еколошките принципи на циркуларниот дизајн, при што секој елемент ја поддржува удобноста, пристапноста и одговорноста кон животната средина (Norman, 2013; McDonough & Braungart, 2002). Одржливоста се третира холистички — преку намерен избор на материјали со низок вграден јаглерод (како секундарен алуминиум и рециклиран полиетилен - rHDPE), модуларност која овозможува лесна репарација, долговечност и гарантирана можност за 100% рециклирање на крајот од животниот циклус (Ashby, 2012; Allwood et al., 2010).

Ова поглавје ги презентира идејните концептуални решенија за новиот систем на урбана опрема, кој произлегува како директен одговор на потребите за одржливост, заштита на ресурсите и социјална кохезија во јавните простори на Тетово. Проектот, насловен како „The Tetovo Rib“, претставува креативна и инженерска синтеза на истражувачкиот процес и воспоставува рамка за нов, препознатлив визуелен и функционален јазик во урбаната средина. Името е директна референца на силуетата на Шар Планина и ридовите кои го опкружуваат Тетово. Линеарниот ритам на елементите од кои е составен столот ги имитира природните набори на теренот и динамичната линија на хоризонтот. Со ова, урбаната опрема престанува да биде туѓо тело и станува „продолжение“ на локалниот пејзаж.



Слика 7.1 Mind Map на Стратегијата за Дизајн

7.2. Избор на типови опрема

Со цел да се обезбеди просторна разновидност и да се задоволат хетерогените потреби на урбаните корисници (деца, млади, возрасни лица и лица со намалена подвижност), следните типови на опрема се приоритизирани за интеграција во системот „The Tetovo Rib“:

- **Клупи и седечки единици:** за одмор, релаксација и социјална интеракција во јавната сфера.
- **Единици за отпад:** со посебни прегради за примарна селекција и рециклирање, со што се адресира еден од најголемите комунални проблеми во Тетово.
- **Жардиниери и зелени елементи:** за воведување на микро-вегетација, зголемување на биодиверзитетот и подобрување на психолошката благосостојба на граѓаните (biophilic design).
- **Паркинг за велосипеди:** за активна поддршка на алтернативниот транспорт и урбаната микро-мобилност во рамките на градското јадро.
- **Соларна интеграција (опционално):** за паметно пасивно осветлување, USB порти за полнење уреди и напојување на сензори за мониторинг на квалитетот на воздухот („smart city“ решенија).

Овој систематски избор ги одразува современите светски трендови во урбаното обликување, каде што уличната опрема престанува да биде пасивна реквизита и станува мултифункционален, интерактивен и еколошки активен елемент на изградената средина (Gehl, 2011; Carmona, 2010).

7.3. Ограничувања и барања на дизајнот

Дизајнирањето на јавна опрема наменета за просторите во Тетово подразбира соочување со специфични контекстуални, климатски и економски ограничувања:

- **Климатска адаптација:** Материјалите мора да бидат исклучително издржливи за да ги поднесат температурните транзиции карактеристични за умерено-континенталната клима во Тетово (од екстремни поднули во зима до високи температури во лето) (Државен завод за статистика на Република Северна Македонија, 2021).
- **Отпорност на вандализам и механички оштетувања:** Уличните елементи мора да бидат конструирани така што ќе го оневозможат или демотивираат намерното кршење, палење или цртање графити. Дизајнот мора да овозможува брза и економична модуларна замена на оштетените делови на терен.
- **Стандарди за пристапност и инклузивност:** Сите модули мора да ги следат принципите на универзален дизајн (Universal Design), нудејќи соодветни димензии и поддршка за лесно користење од ранливите социјални групи (Story et al., 1998).
- **Просторна и ергономска ефикасност:** Опремата мора максимално да го искористи просторот во високофреквентните зони како што се градскиот плоштад или автобуските постојки, без притоа да го блокира протокот на пешаци.
- **Буџетски ограничувања и економска одржливост:** Имплементацијата на дизајните мора да биде реално изводлива преку употреба на економични методи на производство и локално достапни сировини (како секундарни метали и локално рециклирани пластични профили).

7.4. Процес на проектирање

Процесот на идеација и развој на дизајнот ја следеше рамковната итеративна методологија на Дизајнерско размислување (Design Thinking) (Brown, 2009):

1. Емпатија: Теренски набљудувања и анкетирање на граѓаните во Тетово со цел директно идентификување на недостатоците на тековната урбана опрема (неудобност, брзо пропаѓање, лоши материјали).

2. Дефинирање: Формулирање на основните функционални предизвици — недостиг на ергономски седишта во сенка, отсуство на корпи за селекција на отпад и прегревање на металните површини на сонце.

3. Идеација: Скицирање на решенија кои се засноваат на линеарен ламеларен систем со цел креирање на унифициран визуелен јазик.

4. Прототипирање: Креирање на брзи тридимензионални скици и модуларни варијанти за тестирање на формата, споевите и просторниот сооднос.

7.5. Принципи на дизајн

Предложениот систем на урбана опрема се заснова на шест фундаментални дизајнерски принципи:

1. Модуларност: Елементите се дизајнирани како компатибилни градежни блокови кои лесно се спојуваат, продолжуваат или менуваат, овозможувајќи му на системот да еволуира во согласност со просторот.

2. Издржливост и резилентност: Наменски избор на долготрајни и структурно стабилни материјали како што се ThermoWood, анодиран алуминиум и заштитен челик, кои гарантираат минимални деформации со текот на времето (ThermoWood Handbook, 2003; Brischke & Meyer-Veltrup, 2016).

3. Еколошка одржливост : Максимално интегрирање на рециклиран полиетилен (rHDPE) со цел рециклирање на локалниот пластичен отпад и користење на енергетски ефикасен секундарен алуминиум (Hopewell et al., 2009).

4. Естетска едноставност и инспирација од контекстот: Дизајнот преферира чисти, современи геометрии кои црпат директна инспирација од природните контури и силуети на Шар Планина, преточувајќи ги во динамичен линеарен ритам на дрвените и пластичните ламели.

5. Ергономија и инклузивност: Оптимизирани димензии и агли на седење кои нудат висок степен на физички комфор, тактилна топлина и безбедност за сите корисници.

6. Технолошка интеграција: Паметно интегрирање на флексибилни фотоволтаични фолии (BIPV) во рамките на покривните конструкции за генерирање чиста енергија на лице место.

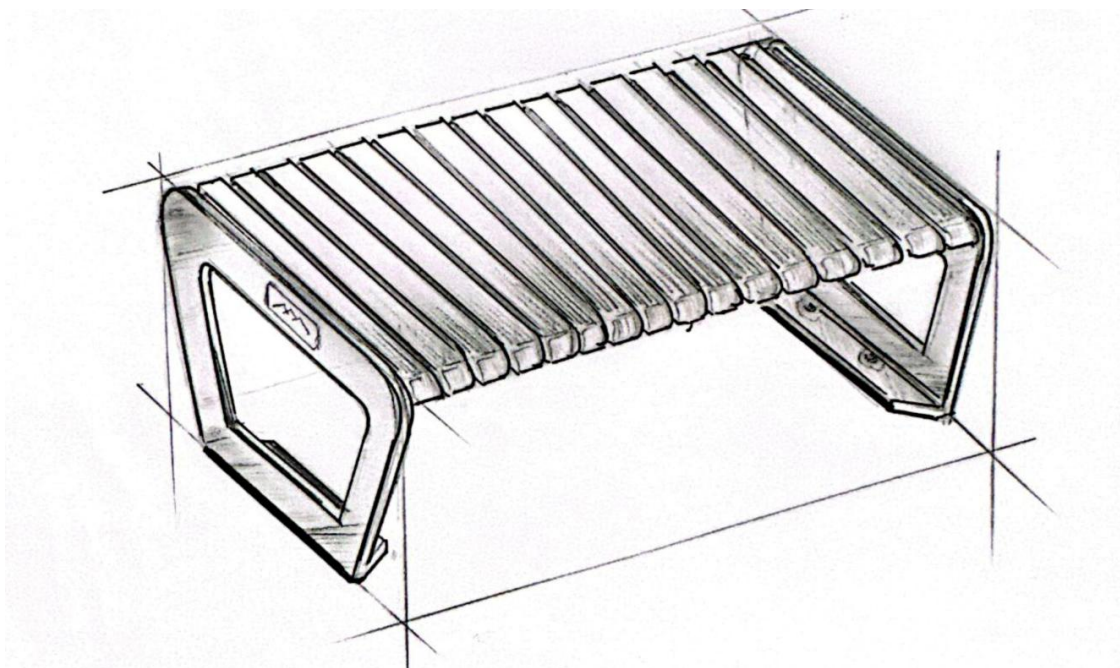
7.6. Опис на концептуалните предлози (Анализа на скици)

Пред да се пристапи кон деталната анализа на секој поединечен цртеж, подолу е прикажана сеопфатна матрица која ја евалуира функционалноста, еколошката улога и просторната соодветност на секој од шестите предложени модули во рамките на системот „The Tetovo Rib“ (Табела 7.1).

Табела: 7.1 Матрица на функционалност и просторна применливост на концептуалните модули

Ознака на концепт	Структурна комплексност	Социјална кохезија	Капацитет за зеленило	Смарт/Солар на интеграција	Оптимална локација во урбаното ткиво
Цртеж 1: Модул без наклон	Ниска	Средна	Нема	Ниска	Фреквентни пешачки патеки во центарот
Цртеж 2: Стандарден модул	Средна	Средна	Нема	Средна	Стандардни градски паркови и тротоари
Цртеж 3: Модул со потпирачи	Средна	Ниска	Нема	Ниска	Пред болници, пошти и институции
Цртеж 3: Кружна форма	Висока	Исклучителна	Средна	Средна	Централни плоштади, околу дрвја
Цртеж 4: Мултифунк. платформа	Висока	Средна	Исклучителна	Нема	Урбани џебови (pocket parks)
Цртеж 5: Органски форми	Исклучително висока	Висока	Ниска	Висока	Големи паркови и кејот на Пена
Цртеж 6: Центрична конфиг.	Висока	Исклучителна	Висока	Висока	Микро-плоштади, проширени тротоари

Цртеж 1

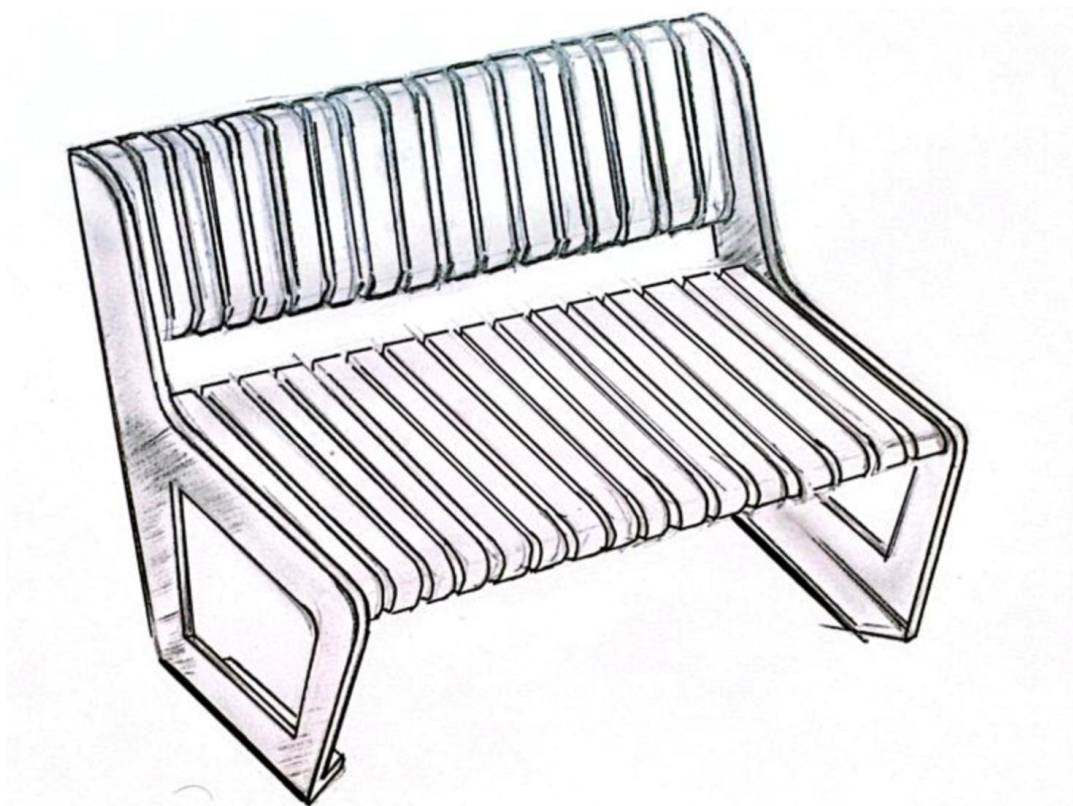


Слика 7.2 Концептуален модул без наслон

Овој концепт претставува минималистичка урбана платформа која ја елиминира вертикалната бариера на наслонот, овозможувајќи двострано користење и поголема слобода во движењето. Скицата ја илустрира прецизната конструкција каде што хоризонталната рамнина е формирана од густо подредени ламели, фиксирани врз цврсти странични потпори со специфичен аголен профил.

Од технички аспект, хоризонталните ламели кај овој модул се димензионирани за изведба од rHDPE (рециклиран полиетилен) или ThermoWood. Поради нискиот модул на еластичност на пластиката, ламелите се конципирани со внатрешно челично или алуминиумско јадро, со што се спречува несакана деформација при долготрајно оптоварување, додека се задржуваат сите еколошки предности на рециклираниот материјал (Hopewell et al., 2009). Овој модел е особено ефикасен за поставување подолж пешачки патеки или во зони со висок фреквент на движење во Тетово, бидејќи овозможува брза социјална интеракција без да го блокира визуелниот континуитет на просторот. Отвореноста на дизајнот ја олеснува дренажата и го спречува акумулирањето на нечистотии помеѓу сегментите. Ваквата форма нуди чист и ненаметлив естетски израз кој лесно се интегрира во урбаниот контекст.

Цртеж 2

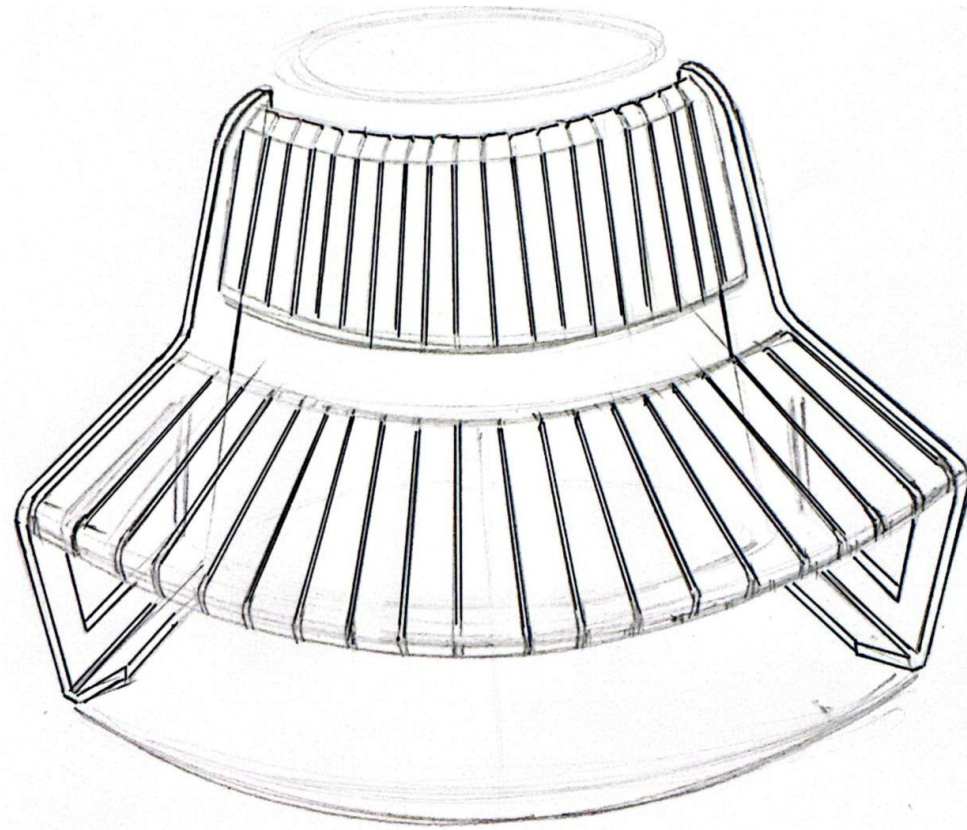


Слика 7.3 Стандарден модул со наслон

Ова скица го прикажува базичниот ергономски модел на клупа, кој претставува референтна точка за материјализација на целиот систем. Дизајнот се одликува со континуирана ламеларна структура, каде што преминот помеѓу седиштето и наслонот е изведен со заоблена ергономска линија која обезбедува оптимален комфор за корисникот. Страничните носачи со трапезоидна форма му даваат на елементот структурна стабилност и визуелна цврстина, истовремено дефинирајќи го модерниот индустриски израз.

Овој модул се карактеризира со висок степен на заменливост на деловите; во случај на оштетување предизвикано од вандализам, поединечните ламели од ThermoWood или rHDPE можат брзо да се заменат без расклопување на целата алуминиумска подконструкција. Како посебна функционална карактеристика се истакнува аголот на наклон на наслонот од 105° , кој е внимателно пресметан за да поддржи правилна положба на телото при подолготраен престој на отворено, што е во согласност со современите ергономски стандарди за јавен мебел (ISO 7176, 2014).

Цртеж 3

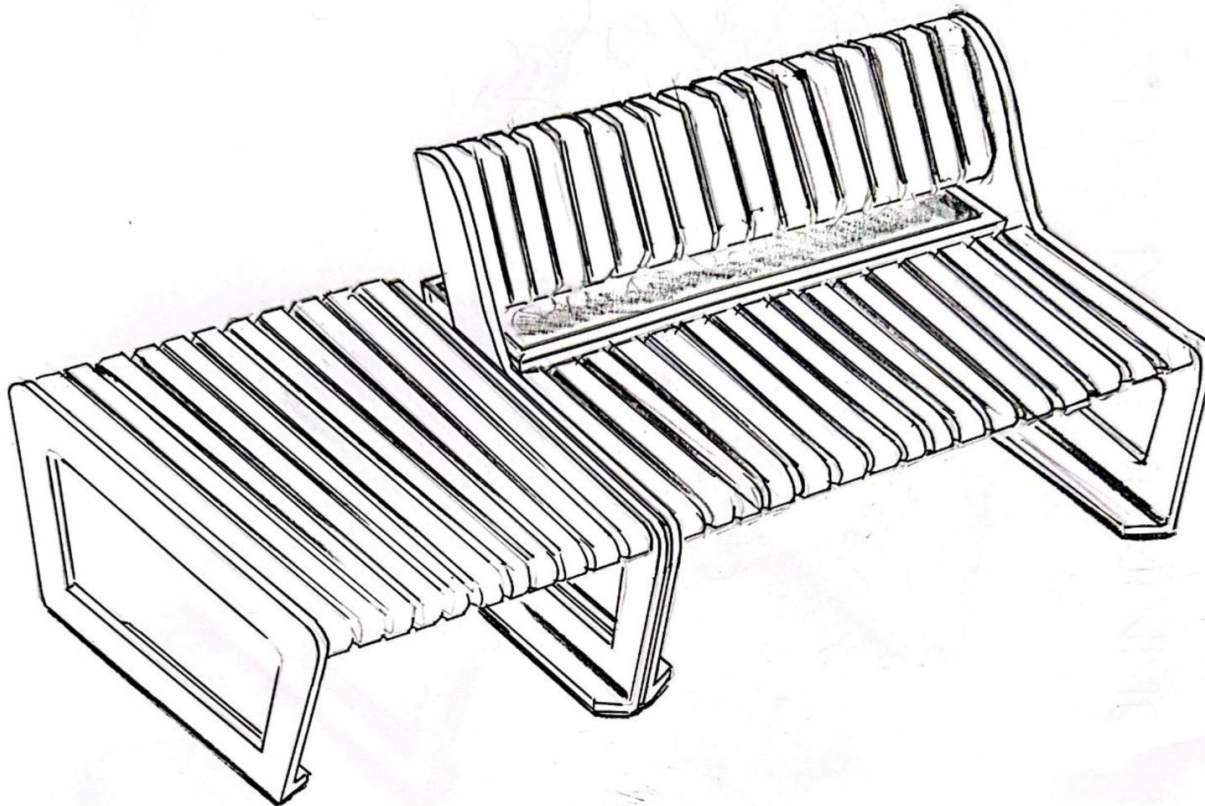


Слика 7.4 Кружна конфигурација (Интеграција со природата)

Овој модел прикажува кружна урбана форма со континуирана радијална симетрија, која овозможува седење во опсег од 360 степени. Дизајнот користи конусна вертикална проекција каде што наклонот и седиштето се интегрирани во компактна, скулптурална единица.

Кружната конфигурација е специјално развиена со цел да го користи алуминиумот како примарен носечки материјал во подконструкцијата. Леснотијата и високата јачина на алуминиумските споеви овозможуваат брзо склопување на сегментите на терен директно околу стеблата на постојните повеќегодишни дрвја на Градскиот Плоштад во Тетово, штитејќи ја вегетацијата и кореновиот систем од какви било конструктивни притисоци. Радијално поставените профили создаваат динамична игра на светлина и сенка, додека централното јадро нуди можност за поставување на индиректно паметно LED осветлување или интегриран систем за наводнување (капка-по-капка) за зеленилото лоцирано во срцето на модулот.

Цртеж 4

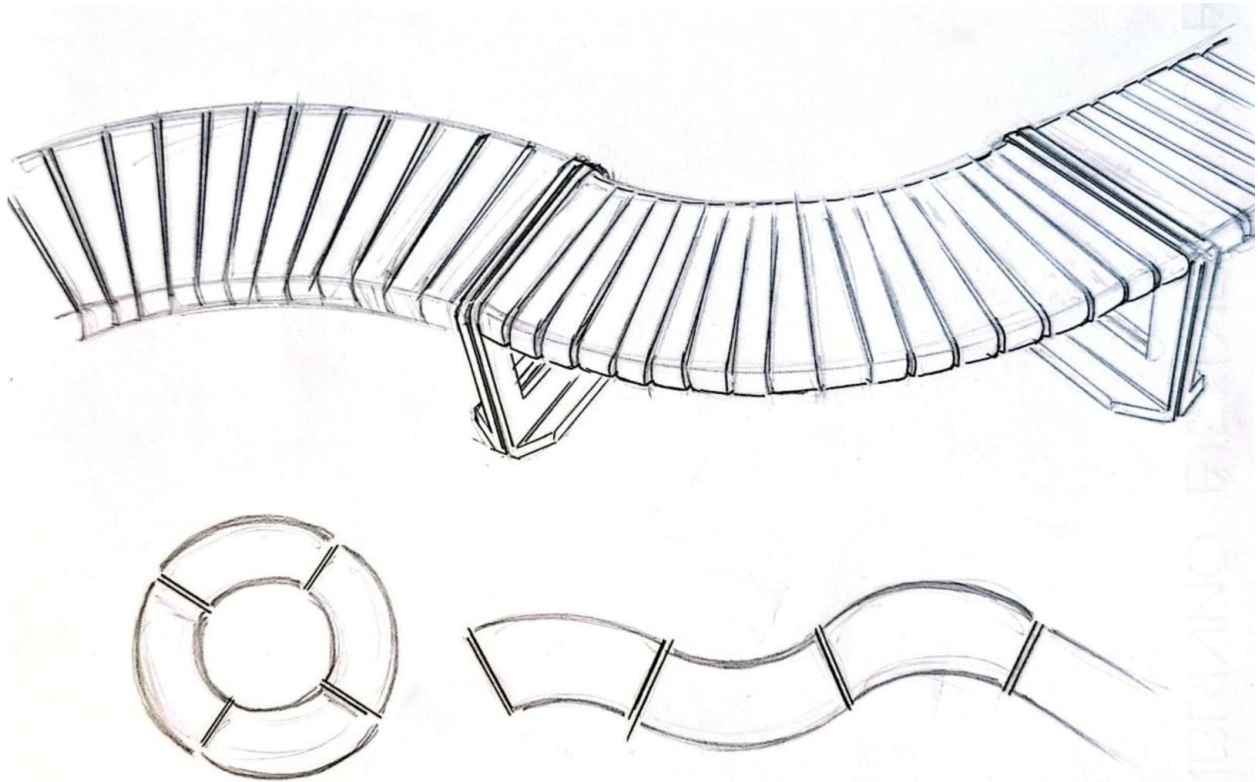


Слика 7.5. Мултифункционална платформа

Предложеното решение претставува мултифункционален урбан модул кој интегрално ги поврзува просторот за седење и пасивниот систем за вградено вертикално зеленило. Дизајнот е конструиран од серија вертикални ламеларни профили кои формираат ергономско седиште, додека во задниот дел е предвиден простор за вегетациски појас.

Со цел спречување на деградација на материјалите, внатрешниот сад за почва во задниот дел е изработен од термопластичен rHDPE, кој е 100% водоотпорен и целосно инертен кон киселоста на почвата, со што целосно се спречува пренос на влага и корозија на алуминиумската потпорна конструкција на клупата. Овој интегриран жардињер претставува директен одговор на еколошките потреби во густо урбанизираните делови на Тетово, придонесувајќи за филтрација на воздухот од аерозагадувањето, регулирање на локалната влажност и ублажување на ефектот на урбани топлински острови преку природно засенчување на седиштето (Cabeza et al., 2014; Gehl, 2011).

Цртеж 5

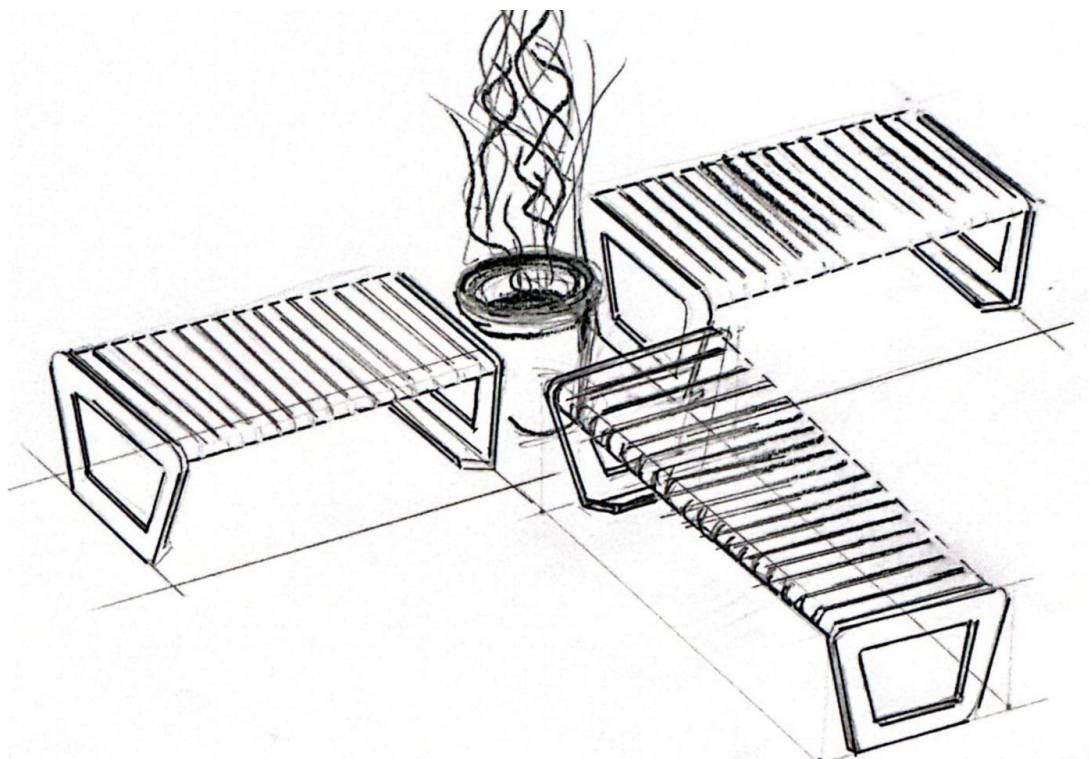


Слика 7.6 Органски и серпентински форми

Ова скица прикажува параметриски дизајниран модуларен систем, кој овозможува висока диспозициска флексибилност во зависност од контекстот на урбаната локација. Основниот концепт се заснова на радијални и линеарни модули кои можат слободно да се комбинираат во различни насоки – од затворени кружни структури до динамични синусоидални (брановидни) композиции.

Оваа „урбана флуидност“ овозможува органско вклопување на опремата во рамките на парковите во Тетово или долж рекреативните патеки покрај реката Пена, следејќи ги природните линии на движење на граѓаните. Од техничка гледна точка, флексибилните споеви меѓу поединечните сегменти содржат вградени полимерни дилатациони прстени кои овозможуваат микро-прилагодувања на формата при нерамни терени, додека истовремено ја апсорбираат термичката експанзија на долготрајниот соларен импакт во текот на летото без појава на внатрешни напрегања и пукнатини во материјалот.

Цртеж 6



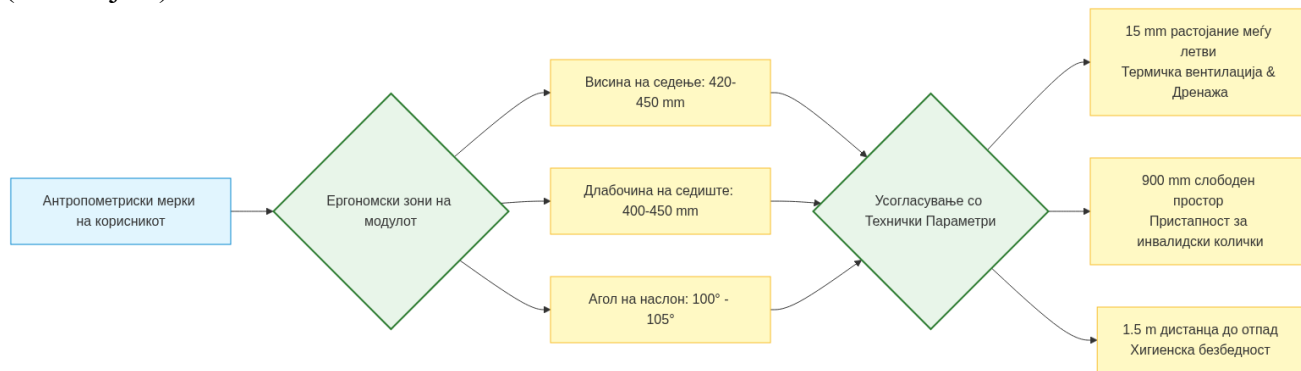
Слика 7.7 Центричната урбана конфигурација

Овој концепт претставува центрична просторна диспозиција на три независни линеарни модули, организирани околу заедничка фокусна точка со интегрирано зеленило во средината. Ваквата конфигурација создава мал, добро дефиниран заштитен простор кој го поддржува принципот на „социјална архитектура“, трансформирајќи го обичното седење во активна зона за заедницата (Pallasmaa, 2005).

Од аспект на урбаното планирање, овој модел е исклучително соодветен за поставување на проширувања на пешачки тротоари или помали јавни џетови во Тетово каде просторот е ограничен, но каде што потребата за визуелно ревитализирање е исклучително голема. Централниот елемент за вегетација дејствува како природен параван и филтер за прашина од сообраќајот, нудејќи му на корисникот чувство на безбедност, сенка и пријатна микроклима дури и во најфреквентните делови на градското подрачје.

7.7. Технички параметри на концептите

За потребите на идните пресметки и непосредна фаза на изведба, детално се специфицирани техничките димензии, прагови на толеранција и ергономските стандарди кои беа развиени во согласност со претходните истражувања на својствата на материјалите (Поглавје 6).



Слика 7.8. Дијаграм на Ергономија и Растојанија

7.7.1. Ергономски параметри на седење

Димензиите на модулите се дефинирани врз основа на антропометриски мерења и стандарди за јавна урбана опрема:

- **Висина на седење (450 mm):** Оваа висина е во согласност со стандардот EN 1176, овозможувајќи лесно користење за возрасни и постари лица.
- **Длабочина на седиштето (450 mm - 500 mm):** Оптимизирана димензија за да се спречи притисок врз поплитеалната артерија (зад коленото), според насоките на Neufert (Architects' Data).
- **Агол на наклонот (12° - 15°):** Овој наклон овозможува пренос на тежината од 'рбетниот столб кон наклонот, обезбедувајќи лумбална поддршка согласно стандардите за ергономија на ISO 9241.
- **Растојание меѓу дрвените летви (15 mm):** Оваа празнина е критична за дренажа и спречување на заглавување на прсти, согласно безбедносниот стандард EN 1176-1.

7.7.2. Конструктивни спецификации на челик и дрво

За изведба на носечката конструкција и површините за седење, се предвидуваат следните технички параметри:

- **Челични ребра (S235JR со дебелина од 10 mm):** Користењето на овој профил обезбедува статика против деформации при максимално оптоварување, согласно Eurocode 3 (EN 1993) за проектирање на челични конструкции.
- **Заштита од корозија (Топло цинкување и пластификација):** Овој систем на двојна заштита е во согласност со ISO 12944, обезбедувајќи отпорност на корозија во урбани средини со високо загадување (како Тетово) над 20 години.
- **Термички обработено дрво (Thermowood - дебелина 40 mm):** Дебелината е одредена за да се спречи свиткување (deflection) и да се осигура долготрајност без хемиска заштита, според стандардот EN 350-2 за издржливост на дрвото.

7.7.3. Урбано позиционирање и паметна технологија

Растојание од корпа за отпадоци (1.5 m): Хигиенски стандард дефиниран во NACTO (Global Street Design Guide) за избегнување на непријатни мириси во зоната на седење.

Интеграција на фотонапонски панели (IP67): Електронските компоненти и USB портите мора да го исполнуваат стандардот IEC 60529 за заштита од влага и прав во екстремни климатски услови.

Табела 7.1 Проширени технички и ергономски параметри на концептите на урбана опрема

Параметар	Спецификација	Образложение и технички стандард
Растојание меѓу ламели	15 mm	Дефинирано за да се овозможи брза дренажа на дождовница и природна термална вентилација на седиштето (спречува прегревање во лето).
Термичка дилатација	+3 mm до +5 mm (долгнавести отвори)	Неопходно за компензација на термичкото ширење на rHDPE под сонце без деформација на конструкцијата.
Дебелина на заштитен слој	$\geq 20 \mu\text{m}$ (Анодизација) $\geq 80 \mu\text{m}$ (Пластификација)	Обезбедува висока хемиска отпорност на металот против смог, влага и соли за одмрзнување во Тетово.
Растојание од корпа за отпад	1.5 m	Минимален санитарен хигиенски стандард за заштита на корисниците на клупата од непријатни мирисби.
Простор за пристапност	900 mm	Слободен простор со соодветна подлога веднаш до линеарните модули за корисници на инвалидски колички (Универзален дизајн).
Висина на седиште	430 mm	Оптимална ергономска висина согласно ISO 7176, со цел да се овозможи лесно користење за повозрасните граѓани.
Агол на наслон	105°	Обезбедува соодветна дистрибуција на притисокот врз лумбалниот предел на рбетот, спречувајќи замор при седење.
Интеграција на соларни панели	BIPV / IP67 заштита	Интегрирани фотоволтаици на покривот, со заштита од вода и прашина за сите електронски споеви.

7.8 Сумирање на клучните сознанија

Идејните концептуални решенија во рамките на проектот „The Tetovo Rib“ не претставуваат само изолиран дизајн на улични елементи, туку стратешка методолошка платформа за физичка и еколошка ревитализација на јавниот простор. Преку примена на строги еколошки критериуми (Оцена на животен циклус - LCA), модуларност и паметни еко-материјали, овој систем нуди флексибилна и реално применлива основа за унапредување на отпорноста на градската средина во Тетово на климатските предизвици (Cabeza et al., 2014; Ashby, 2012).

Почетните скици развиваат конзистентен и унифициран визуелен јазик кој служи како кохерентна морфолошка рамка за целата градска опрема. Овој јазик се заснова на принципот на модуларна синтеза, каде што секој посебен елемент – од најобична клупа без наслон до комплексни соларни структури со вградени биофилтрациски жардиниери – ја споделува истата линеарна ламеларна логика. Ваквата стандардизација на дизајнот овозможува голема оптимизација на производствениот процес на локално ниво во полошкиот регион, драстично намалувајќи ги трошоците за калапи, алати и резервни делови.

Дизајните се конципирани како адаптивни системи: еден модул може лесно да еволуира од едноставна стационарна единица за одмор во комплексен еколошки „јазол“ кој филтрира воздух, нуди пријатна засенченост (термички комфор) и ја поттикнува социјалната соживеаност и кохезија на граѓаните на јавните простори, директно придонесувајќи кон создавањето на долгорочно резилиентно и хумано градско ткиво.

8. ФИНАЛЕН ДИЗАЈН-ПРЕДЛОГ – ОПЦИЈА 1 (ЧЕЛИК + ТЕРМОДРВО)

8.1. Преглед на дизајнот

Финалниот дизајн-предлог за Опција 1 се заснова на систематска интеграција на конструктивен челик и термички третирано дрво (ThermoWood), со цел создавање на високоиздржлив, естетски супериорен и еколошки одржлив систем на урбана опрема под името „The Tetovo Rib“. Главната филозофија на овој дизајн е интелигентната модуларност. Наместо крути, монолитни структури кои тешко се прилагодуваат на просторот, Опција 1 нуди динамичен ламеларен систем кој може да се конфигурира во различни просторни варијации во зависност од конкретните потреби на локацијата во Тетово.

Овој систем овозможува исклучителна флексибилност:

- **Просторна адаптација:** Елементите можат да се изведат како класични линеарни клупи (со или без наслон), единечни фотелји со потпирачи за раце, или пак да се спојат во серпентински (брановидни) и кружни форми околу постојното зеленило на Градскиот Плоштад.
- **Функционална интеграција:** Системот е конципиран како „урбан паметен јазол“. Во зависност од локацијата, основната модуларна структура може да се надгради со:
 - Интегрирани жардиниери за биофилтрација и внесување на локално зеленило.
 - Паметни соларни технологии (микро-соларни панели на седиштето или на покривната конструкција за полнење уреди и пасивно LED осветлување).
 - Корпи за примарна селекција и рециклирање на отпад (хартија, пластика, комунален отпад) интегрирани директно во визуелниот јазик на опремата.
 - Покривни конзолни конструкции кои нудат засенченост и заштита од атмосферски влијанија.

8.2. Материјална композиција и детализација

Материјализацијата на Опција 1 е детално проектирана со цел да се постигне максимален животен век на опремата при екстремни климатски услови карактеристични за Тетово:

1. Конструктивна потпора (Странични профили): Изработени од конструктивен челик со дебелина од 12 mm. Челичните странични профили се ласерски сечени со трапезоидна геометрија која нуди висока статичка стабилност и аголен наклон за ергономска поддршка. За заштита од корозија и вандализам, челикот се подложува на топло поцинкување и завршна електростатска пластификација (powder coating) во темно сива нијанса (RAL 7016/7021) со дебелина на слојот од $\geq 80 \mu\text{m}$.

2. Седечки и наслонски ламели: Изработени од висококвалитетно термички третирано дрво (ThermoWood - бор или јасен). Процесот на термичка модификација при температури над 180°C ја намалува рамнотежната влажност на дрвото, ја подобрува димензионалната стабилност за 50% и ја елиминира хранливата подлога за габи и инсекти (ThermoWood Handbook, 2003; Brischke & Meyer-Veltrup, 2016). Ламелите се со димензионален пресек од 75 mm x 35 mm со заоблени рабови.

3. Елементи за поврзување: Сите завртки, подлошки и навојни прачки се изведени од нерѓосувачки челик (A2/A4 Stainless Steel) за да се спречи појава на галванска корозија на споевите меѓу челикот и дрвото.

8.3. Конструктивно однесување и ергономија

Од ергономски аспект, Опција 1 целосно ги задоволува меѓународните стандарди за јавен мебел (ISO 7176):

- **Висина на седење:** Фиксирана на оптимални 450 mm (без наслон) односно 430 mm (со наслон), што овозможува лесно седнување и станување на повозрасни лица.
- **Ширина на седиштето:** Димензионирана на 500 mm (кај верзијата без наслон) и 580 mm (вкупна длабочина со наслон) за максимален комфор.
- **Агол на наслонот:** Поставен под ергономски агол од 12° (односно 102° до 105° во однос на хоризонталната рамнина за седење) за правилна дистрибуција на притисокот врз лумбалниот предел.
- **Дилатациони празнини:** Помеѓу секоја дрвена ламела е оставен простор од 15 mm. Ова растојание овозможува брза дренажа на атмосферските води и спречува акумулација на топлина во летните месеци.

Димензиите на модулите се дефинирани врз основа на антропометриски мерења и стандарди за јавна урбана опрема:

8.4. CAD модели и технички цртежи

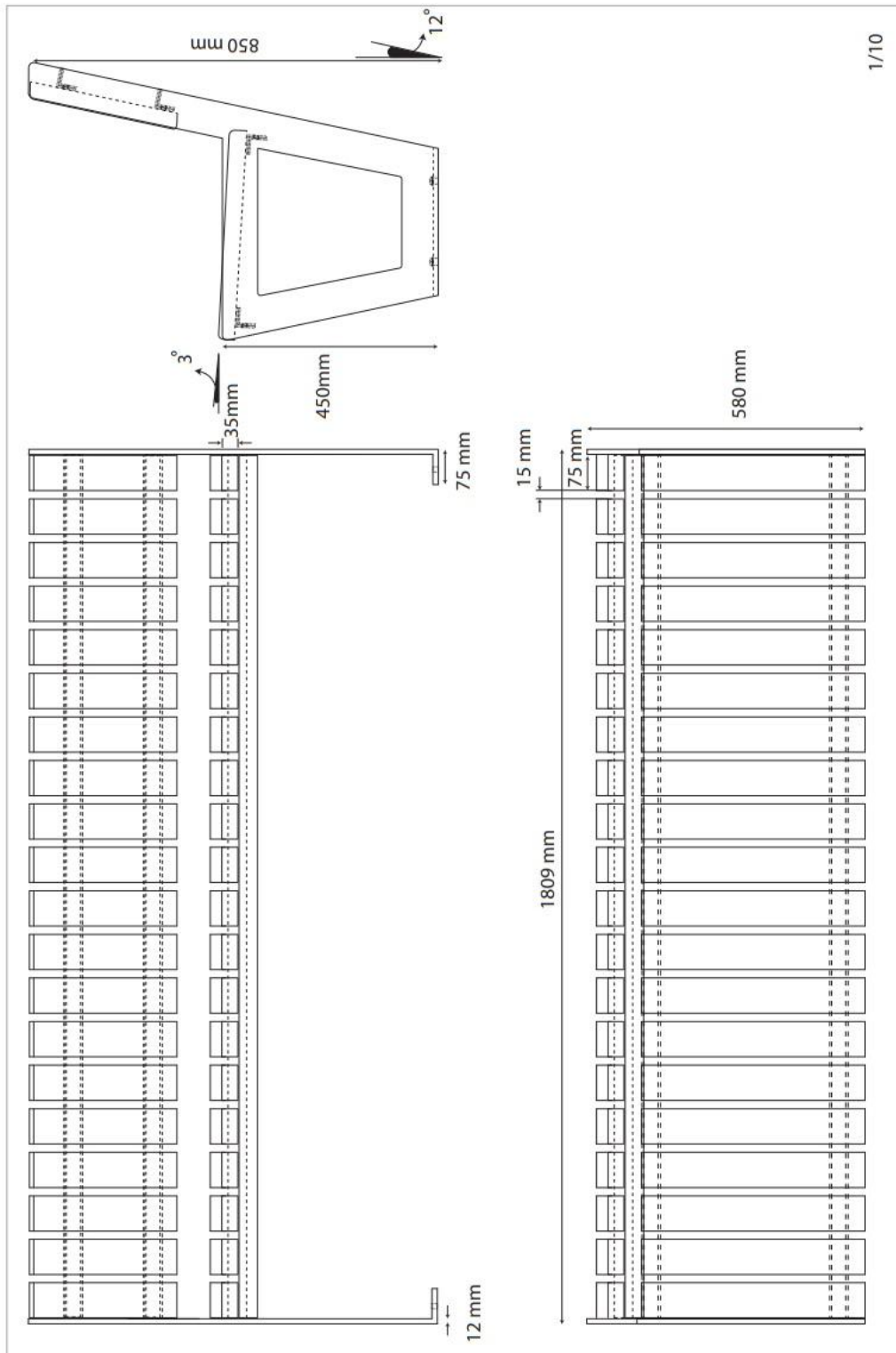
Во овој дел се презентирани деталните технички цртежи за двете основни просторни конфигурации на Опција 1:

Слика 8.1: Концептуален модул со наслон (Стандардна клупа): Ја прикажува стандардната верзија со вкупна должина од 1809 mm и вкупна висина од 850 mm. Јасно се прикажани страничните челични потпори од 12 mm со засилена основа за анкерисување. Наклонот на седиштето од 3° кон наслонот спречува лизгање на корисникот.

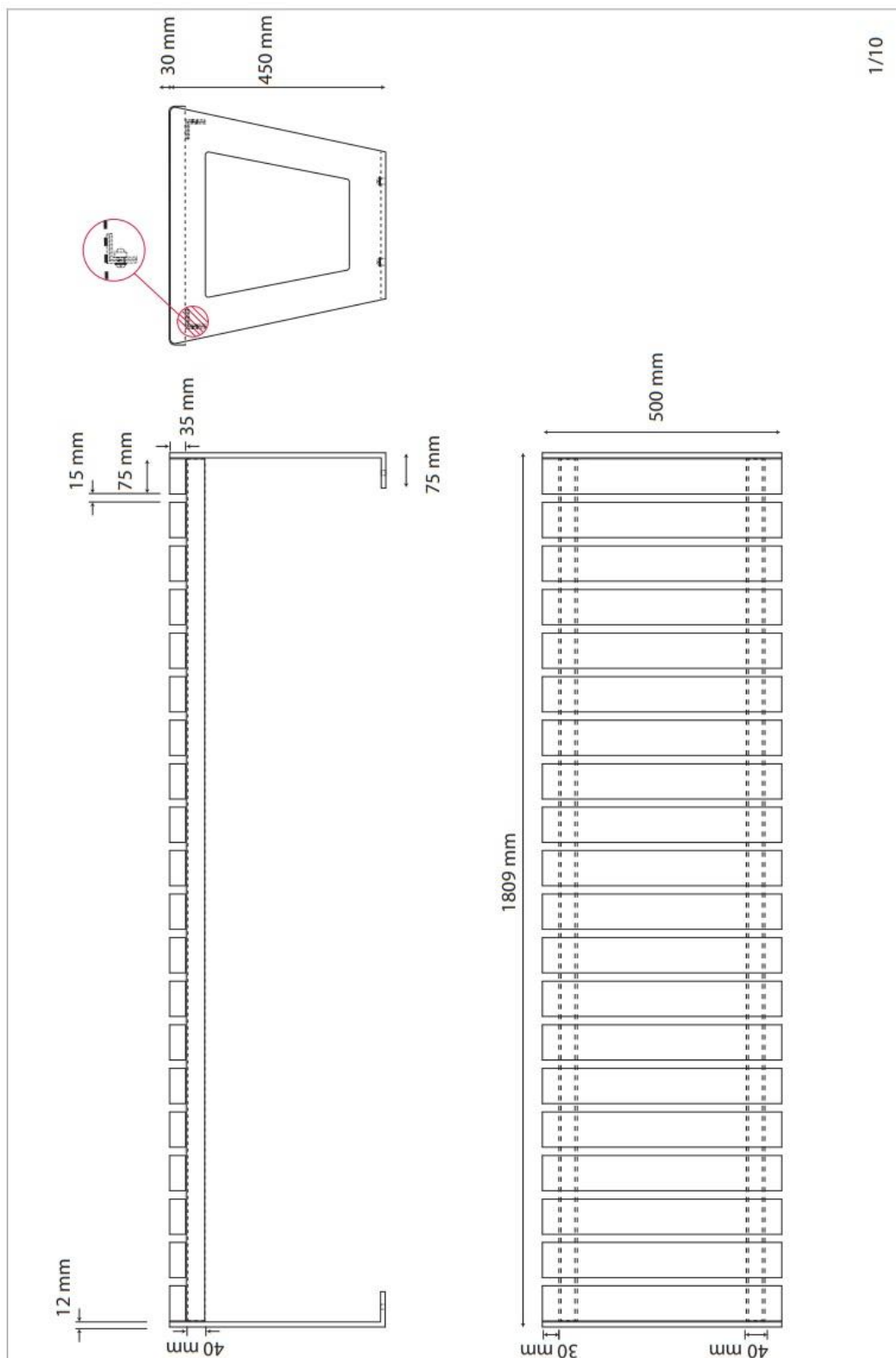
Слика 8.2: Концептуален модул без наслон (Платформа): Го прикажува минималистичкиот паметен модул без наслон, со должина од 1809 mm и ширина од 500 mm. Пасивното накусување на седиштето од 3° овозможува самостојно одлевање на водата.

Слика 8.3: Технички цртеж кој прикажува демонтиран приказ (exploded view) на модуларна носечка конструкција/рамка, наменет за визуелизација на начинот на склопување на компонентите. Конструкцијата се состои од следниве клучни елементи:

- **Перфорирани надолжни профили (L-профили / аголници):** Четири главни C- или L-профили со рамномерно распоредени отвори (перфорации) по целата должина, кои овозможуваат прилагодување на висината и лесно фиксирање на позициите со помош на завртки.
- **Примарни носечки рамки (Горна и долна база):** Две масивни, специфично обликувани контурни рамки (едната позиционирана горе десно, другата долу лево) кои ја дефинираат основната форма и ја даваат структурната стабилност на целиот склоп.
- **Аголни држачи и елементи за поврзување:** Мали аголници спојници (L-колена) кои служат за зацврстување на врските помеѓу профилите и главните рамки.
- **Ознаки за склопување:** На цртежот се прикажани соодветни стрелки и непрекинати линии (оски) кои го покажуваат точниот правец и редослед на внесување и монтирање на профилите во главната конструкција.

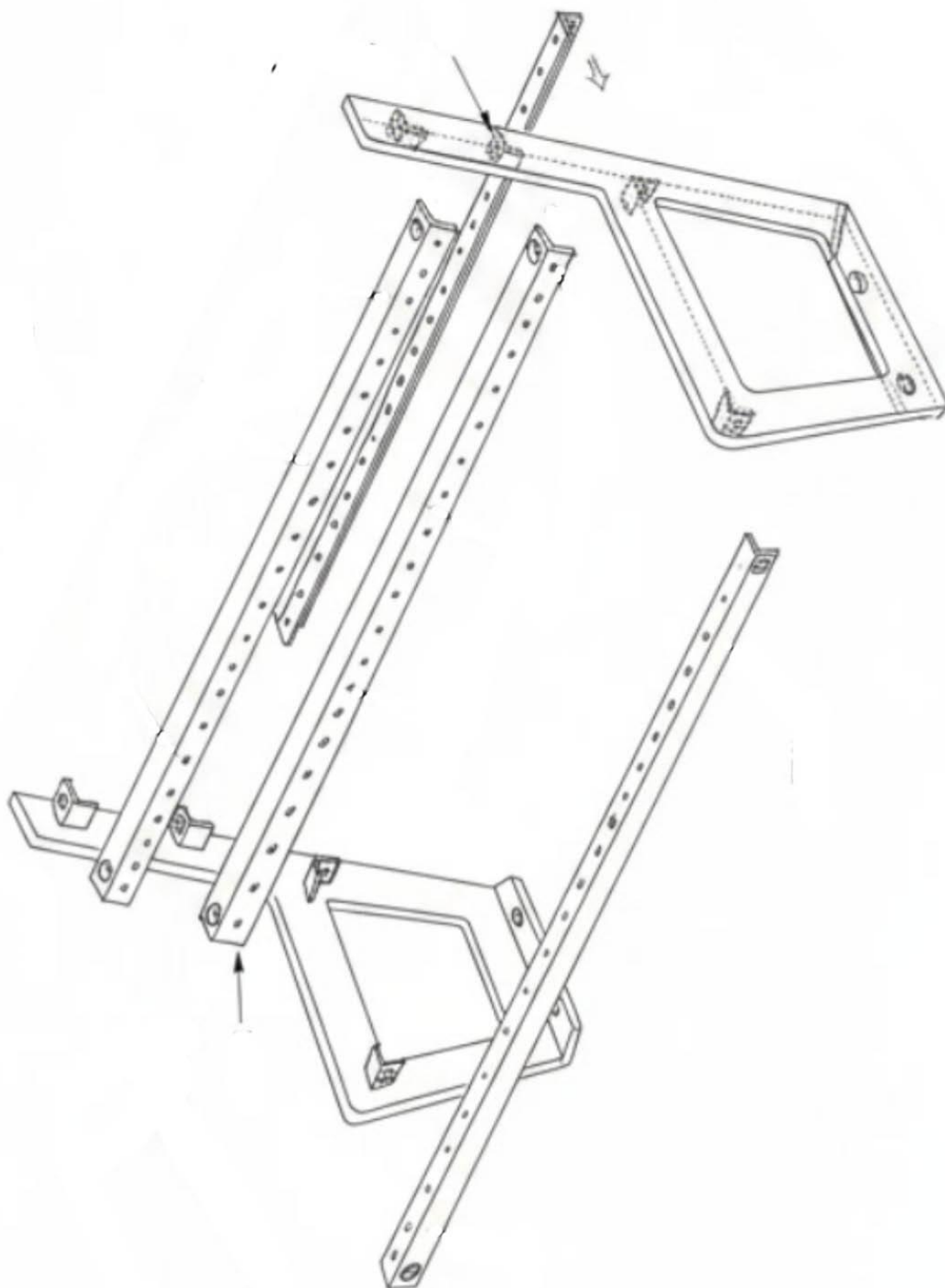


Слика 8.1 Технички цртеж на концептуален модул со наслон (Стандардна клупа)



1/10

Слика 8.2 Технички цртеж на концептуален модул без наслон (Платформа)



Слика 8.3 Демонтиран (експлодиран) приказ на метална носечка рамка со перфорирани профили и аголни спојници

8.5. Визуелизации во реален контекст на Тетово

Со цел да се евалуира визуелниот импакт и естетската интеграција на Опција 1, изработени се фотореалистични рендери во типични урбани амбиенти на Тетово (Градскиот Плоштад и пешачките зони):

• Рендер 1 (Клупа без наслон - Минималистички модел)

Оваа клупа претставува елегантен спој на индустрискиот стил и природните елементи, совршено вклопувајќи се во модерните урбани простори. Нејзината конструкција е изработена од челична рамка обложена со прашкаста боја во темно сива нијанса, што нуди висока отпорност на атмосферски влијанија и непоколеблива стабилност. Делот за седење се состои од прецизно подредени летви од Thermowood дрво, кое благодарение на термичката обработка, ја задржува својата форма и богатата кафена боја без да биде под влијание на влага или сонце. Овој минималистички дизајн овозможува двострано користење и на плоштадите или парковите им дава чувство на пространост и визуелна слобода (Слика 8.4).



Слика 8.4 Урбана клупа без наслон- конструкција од челик со прашкасто фарбање (Антрацит) и седиште од Thermowood дрво.



Слика 8.5 Урбана клупа со ергономски наслон - конструкција од високоотпорен челик и површина од термички третирано Thermowood дрво.

- **Рендер 2 (Клупа со наслон - Ергономски модел)** Овој модел ја комбинира максималната удобност со софистицирана естетика, нудејќи идеално место за одмор во јавни или приватни средини. Мокната челична структура органично се протега за да го формира наслонот за грбот, гарантирајќи сигурна и ергономска поддршка за корисникот. Употребата на Thermowood дрво не само што додава топла и органска текстура наспроти студенилото на металот, туку обезбедува и исклучителна долготрајност без потреба од често одржување. Со своите чисти линии и прекрасниот контраст помеѓу темниот метал и природното дрво, оваа клупа служи како декоративен и функционален елемент кој ја подигнува архитектурата на секој урбан пејзаж (Слика 8.5).

8.6. Изводливост на изведба и проценка на трошоци за Опција 1

Проценката на економската изводливост на Опција 1 се заснова на детална анализа на пазарот на градежни материјали во Р.С. Македонија, како и на трошоците за индустриска обработка во металскиот и дрвниот сектор во Полошкиот и Скопскиот регион.

Со оглед на тоа што дизајнот е целосно модуларен, економската логика на овој проект се потпира на ефектот на економија на обем (Economy of Scale). Во Табела 8.1 е прикажана деталната структура на трошоците за изработка на една стандардна мултифункционална клупа со наслон (должина 1.8 m) со применет курс од 1 EUR $\approx$ 61.5 MKD.

Табела 8.1 структура на трошоците за изработка на една стандардна мултифункционална клупа со наслон (должина 1.8 m)

Р.Б.	Опис на материјал / услуга	Количина	Един. цена (€)	Вкупен износ (€)
1.1	Конструктивен челик (S235/S355)	54.45 kg	1.20	65.34
1.2	Термодрво (ThermoWood - бор)	0.047 m ³	1250.00	58.75
1.3	Нерѓосувачки завртки и анкери (A2)	1 сет	15.00	15.00
2.1	Ласерско сечење на челични страници	0.5 часа	40.00	20.00
2.2	Заварување и склопување на конструкција	2.0 часа	15.00	30.00
2.3	Топло поцинкување (Hot-dip galvanizing)	54.45 kg	0.80	43.56
2.4	Електростатска пластификација (RAL 7016)	1.15 m ²	15.00	17.25
2.5	Профилирање и заштита на ThermoWood	18.0 m	1.00	18.00
3.1	Транспорт и монтажа на терен (Тетово)	паушал	40.00	40.00
-	ВКУПНО ПРОИЗВОДСТВЕН ТРОШОК (без ДДВ)	-	-	307.90

8.7. Евалуација на одржливост (LCA / Оцена на животниот циклус)

Проценката на еколошкото влијание на Опција 1 се заснова на методолошка рамка согласно стандардите ISO 14040:2006 и ISO 14044:2006. Истражувањето е спроведено со помош на софтверот openLCA v2.0.0, користејќи ја базата на податоци Ecoinvent v3.8 (Cut-off модел).

8.7.1. Детални инженерски пресметки на волумен и маса (Инвентар)

За да се обезбеди висок степен на научна прецизност во LCA анализата, влезните податоци во инвентарот се базираат на математички пресметки изведени директно од техничките CAD цртежи за модулот со должина од 1809 mm.

Пресметки за дрвениот дел: Термички третирано дрво (ThermoWood)

1. Број на ламели (N)

Врз основа на должината од 1809 mm, ширината на ламелата од 75 mm и растојанието од 15 mm:

$$1809 = (N \times 75) + ((N - 1) \times 15)$$

$$1809 = 75N + 15N - 15$$

$$1824 = 90N$$

$$N = 20.26 \approx 20 \text{ ламели}$$

2. Волумен на ThermoWood (V_wood)

$$V_{\text{single}} = 0.075 \text{ m} \times 0.035 \text{ m} \times 0.90 \text{ m} = 0.0023625 \text{ m}^3$$

За вкупно 20 ламели:

$$V_{\text{wood}} = 20 \times 0.0023625 \text{ m}^3 = 0.04725 \text{ m}^3$$

В. Маса на ThermoWood (M_wood)

Со густина $\rho_{\text{wood}} = 450 \text{ kg/m}^3$:

$$M_{\text{wood}} = 0.04725 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 21.26 \text{ kg}$$

Пресметки за металниот дел: Конструктивен челик

1. Странични челични профили (2 парчиња)

Нето површина по челична страница (A_net): 0.19 m²

$$\text{Волумен: } V_{\text{side}} = 2 \times (0.19 \text{ m}^2 \times 0.012 \text{ m}) = 0.00456 \text{ m}^3$$

Б. Внатрешни структурни цевки (3 парчиња)

$$V_{\text{pipes}} = 3 \times (0.000444 \text{ m}^2 \times 1.785 \text{ m}) = 0.002377 \text{ m}^3$$

2. Вкупна маса на челичната конструкција (M_steel)

$$\text{Вкупен волумен} = 0.00456 + 0.002377 = 0.006937 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{steel}} = 0.006937 \text{ m}^3 \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 54.45 \text{ kg}$$

Табела 8.2 Инженерски пресметки на волумен и маса

Материјална компонента	Пресметан волумен (m ³)	Пресметана маса (kg)	Процентен удел (%)
Конструктивен челик (S235)	0.006937	54.45	71.4%
Термодрво (ThermoWood)	0.047250	21.26	27.9%
Нерѓосувачки челик (A2)	0.000063	0.50	0.7%
ВКУПНО ПО МОДУЛ	0.054250	76.21	100.0%

Табела 8.3 Инвентар на животен циклус

Материјал / Процес	Вкупна маса (kg)	Извор на податоци (Proxy Data)
Структурен Челик (S235)	54.45 kg	Ecoinvent v3.8
Термодрво (ThermoWood)	21.26 kg	Agribalyse / Ecoinvent
Топло поцинкување (Zinc)	1.20 kg	Ecoinvent
Пластификација	0.80 kg	Ecoinvent
Нерѓосувачки завртки (A2)	0.50 kg	Ecoinvent
ВКУПНА МАСА	76.21 kg	

Евалуацијата на одржливоста на Опција 1 се заснова на строги научни принципи преку имплементација на Оцена на Животниот Циклус (LCA - Life Cycle Assessment) согласно ISO 14040/14044 стандардите.

Со оглед на тоа што во оваа фаза од развојот немаме директен пристап до примарни индустриски податоци за специфичните фабрики за производство и деталните транспортни рути, методолошката рамка се поставува на следниот начин со цел да се обезбеди висок научен кредибилитет на докторската дисертација:

1. Дефинирање на граници на системот: "Cradle-to-Gate" (Од лулка до порта)

Поради отсуството на податоци за детална депонија или крајна фаза на рециклирање по 20 години, се применува "Cradle-to-Gate" модел кој ги опфаќа следните фази:

- **Фаза 1: Екстракција на сировини - A1:** Добивање на железна руда, производство на суров челик, сеча на дрвна маса и транспорт до примарните пилани.
- **Фаза 2: Транспорт до производствен погон - A2:** Сценариото претпоставува транспорт на челичните профили од најблиските регионални центри (на пр. Скопје/Макстил или регионални увозници) до погон за обработка во Тетово (просечна дистанца од 50 km со камион со капацитет од 16-32 тони, Еуро 5 стандард). За ThermoWood, се претпоставува увоз од сертифицирани европски производители (на пр. Финска/Австрија) со железнички и патен транспорт со вкупна пресметана дистанца од 1500km.
- **Фаза 3: Производство и обработка - A3:** Енергија потрошена за ласерско сечење, заварување на челикот, топло поцинкување, електростатско фарбање и енергија за кроење и дупчење на дрвените ламели во локален металопреработувачки и столарски погон во Тетово.

2. Избор на функционална единица

За пресметка на јаглеродниот отпечаток (Carbon Footprint) и другите индикатори за импакт, како функционална единица се дефинира:

FE = Една стандардна клупа (1.8 m) со животен век од 20 години

8.8. Избор на метод за евалуација на импактот (LCIA Method)

По успешната интеграција на сите горенаведени тежински и енергетски текови во openLCA, пресметката на еколошкиот импакт се извршува со користење на научно прифатениот метод ReCiPe 2016 Midpoint (H). Овој метод нуди висок степен на прецизност и е најчесто применуван во академските истражувања во Европа.

Клучните индикатори кои ќе бидат анализирани и претставени преку дијаграми се:

1. **Global Warming Potential (GWP100) / Потенцијал за глобално затоплување:** Овој индикатор ќе покаже колку точно килограми стакленички гасови се испуштаат за производство на една клупа. (Овде ќе се забележи дека ThermoWood дејствува како негативен фактор на почетокот бидејќи дрвото врзува јаглерод додека расте - *biogenic carbon storage*).

2. **Terrestrial Acidification (AP) / Киселост на почвата:** Најмногу поврзан со емисиите од топењето на челикот и индустрискиот транспорт (SO_x и NO_x).

3. **Fossil Resource Scarcity (SOP) / Потрошувачка на фосилни ресурси:** Ја мери потрошувачката на енергија од фосилни извори за време на индустриското производство и сушењето на ThermoWood.

1. Методологија за пресметка на GWP

Пресметката на вкупниот GWP (Global Warming Potential) за Опција 1 се врши според следнава математичка релација:

$$GWP_{total} = \sum (Mass_i \times EF_i) + \sum (Energy_j \times EF_j) + \sum (Transport_k \times EF_k)$$

Каде што:

Mass_i: Маса на употребениот материјал (kg).

EF_i: Емисионен фактор за производство на тој материјал (kg CO₂-eq/kg).

Energy_j: Потрошена енергија за обработка (kWh).

Transport_k: Транспортен учинок (t*km).

Пресметка за вграден јаглерод (Embodied Carbon - A1)

Челик (54.45 kg): Со просечен EF од 2.45 kg CO₂-eq/kg:

$$54.45 \times 2.45 = 133.40 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

ThermoWood (21.26 kg): EF од ≈ -1.20 kg CO₂-eq/kg:

$$21.26 \times (-1.20) = -25.51 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

Пресметка за производство и обработка (Manufacturing - A3)

Електрична енергија (31.89 kWh): EF ≈ 0.85 kg CO₂-eq/kWh:

$$31.89 \times 0.85 = 27.10 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

Поцинкување и боја: Дополнителни ≈ 12.50 kg CO₂-eq.

Транспорт (Transport - A2)

Вкупниот транспортен импакт: ≈ 8.40 kg CO₂-eq.

Табела 8.4 Резиме на вкупниот Carbon Footprint (GWP)

Компонента	Влез	GWP (kg CO ₂ -eq)
Челик (A1)	54.45 kg	133.40
ThermoWood (A1)	21.26 kg	-25.51
Енергија (A3)	31.89 kWh	27.10
Транспорт (A2)	34.61 t*km	8.40
Заштита (A3)	-	12.50
ВКУПНО		155.89

2. Анализа на резултатите и еколошки индикатори (LCIA Results)

По извршувањето на пресметките во софтверот openLCA, добиените резултати за Опција 1 ги рефлектираат синергиите помеѓу тешката индустрија (челик) и одржливото управување со шумските ресурси (дрво).

1. Потенцијал за глобално затоплување (GWP)

Резултатите покажуваат дека најголемиот дел од емисиите на CO₂-eq потекнуваат од фазата A1 (производство на челик). Сепак, кај Опција 1 се забележува специфичен феномен:

- **Biogenic Carbon Storage:** Користењето на 21.26 kg ThermoWood овозможува „складирање“ на јаглерод кој дрвото го апсорбирало за време на растот. Ова резултира со помала вкупна нето-вредност на јаглеродниот отпечаток во споредба со целосно металните конструкции.
- **Транспортен импакт:** Иако ThermoWood е полесен, неговиот транспорт од ЕУ (1500 km) придонесува со околу 12-15% во вкупниот GWP на оваа опција.

2. Ацидификација на почвата (AP)

Овој индикатор е доминантен кај челичните компоненти. Процесот на топло поцинкување и пластифицирање ослободува сулфурни оксиди (SO_x), што ја прави оваа опција почувствителна во оваа категорија во споредба со природните материјали. Сепак, со примена на современи филтри во европските челичарници (RER податоци), овие вредности остануваат во границите на прифатливото за урбана опрема.

3. Потрошувачка на фосилни ресурси (SOP)

Најголем потрошувач на енергија кај Опција 1 е термичката обработка на дрвото. Иако дрвото е природен материјал, процесот ThermoWood бара интензивен енергетски внес. Користењето на македонскиот енергетски микс (кој сè уште е доминантно базиран на јаглен) малку ја зголемува оваа вредност во споредба со земјите кои користат обновливи извори.

Врз основа на извршената техничка и еколошка анализа, може да се извлечат следните заклучоци:

1. **Балансирана одржливост:** Опција 1 претставува „хибриден“ модел кој нуди висока издржливост (челик) и низок јаглероден отпечаток (дрво).
2. **Рециклибилност:** На крајот на животниот век (по 20 години), челичната конструкција е 100% рециклибилна, што овозможува вклучување во кружната економија (Circular Economy).
3. **Локално производство:** Поголемиот дел од фазите на производство (сечење, заварување, заштита) може да се изведат во Полошкиот регион, со што се намалува вкупниот транспортен импакт и се поттикнува локалната економија.
4. **Препорака:** Оваа опција е најадекватна за локации со висок интензитет на користење (паркови, централни градски плоштади) поради нејзината механичка цврстина и релативно едноставно одржување.

9. ДИЗАЈН ВАРИЈАНТИ – ОПЦИЈА 2 И ОПЦИЈА 3

9.1 Опција 2: Алуминиумска легура + ThermoWood

Опцијата 2 (слика 9.1) претставува конструктивна модификација на претходно евалуираниот основен модел (Опција 1), каде конструктивниот челик е заменет со алуминиумска легура со високи перформанси (AlMg3). Димензиите на ламелите, модуларноста и ергономскиот концепт „The Tetovo Rib“ остануваат целосно идентични, со цел да се обезбеди прецизна научна споредливост на перформансите на материјалите.

Овој модел носи посветол и помодерен изглед, користејќи алуминиум како примарен материјал за структурата. Главната предност на оваа клупа е нејзината леснотија и апсолутната отпорност на корозија, што ја прави идеален избор за крајбрежни зони или средини со висока влажност. Контрастот помеѓу металниот сјај на алуминиумот и темните нијанси на ThermoWood дрвото создава луксузна и современа естетика. Чистите линии на рамката ја рефлектираат природната светлина, давајќи му на урбаниот простор поотворен и почист изглед.



Слика 9.1 Урбана клупа без наслон - антикорозивна конструкција од елоксиран алуминиум и елементи од ThermoWood дрво

1. Специфични карактеристики и разлики во однос на Опција 1

• **Физички својства и тежина:** Клучната инженерска разлика лежи во физичко-механичките својства на металот. Густината на алуминиумот ($\rho \approx 2700 \text{ kg/m}^3$) е речиси трипати помала од онаа на челикот ($\rho \approx 7850 \text{ kg/m}^3$), што резултира со драматично олеснување на конструкцијата.

• **Отпорност на корозија:** За разлика од челикот кој бара топло поцинкување и континуирано следење на заштитниот слој за спречување на пенетрација на влага, алуминиумската легура AlMg3 развива природен пасивен оксиден слој кој нуди супериорна антикорозивна заштита при климатските услови во Тетово.

• **Статичко однесување:** Поради помалиот модул на еластичност на алуминиумот ($E \approx 70 \text{ GPa}$ наспроти $E \approx 210 \text{ GPa}$ кај челикот), дебелината на профилите се задржува на 12 mm, но се имплементираат внатрешни зајакнувања на критичните точки за да се спречат деформации при максимални статички и динамички оптоварувања.

2. Инженерски пресметки на инвентар (LCI) и маса за Опција 2

Врз основа на геометриските податоци од техничките цртежи, нето волуменот на металните делови е утврден на точно 0.006937 m^3 . Масата на алуминиумската конструкција се пресметува со следнава формула:

$$M_{alu} = V_{metal} * \rho_{alu} = 0.006937 \text{ m}^3 * 2700 \text{ kg/m}^3 \approx 18.73 \text{ kg}$$

Бидејќи димензиите на седечкиот дел се непроменети, волуменот на дрвените ламели изнесува 0.04725 m^3 . При густина на ThermoWood од $\rho = 450 \text{ kg/m}^3$, масата на дрвениот сегмент изнесува:

$$M_{wood} = V_{wood} * \rho_{wood} = 0.04725 \text{ m}^3 * 450 \text{ kg/m}^3 = 21.26 \text{ kg}$$

Вкупната нето маса на еден модул од Опција 2 изнесува 18.73 kg (алуминиум) + 21.26 kg (дрво) + 0.50 kg (нерѓосувачки завртки A2) = 40.49 kg . Ова претставува намалување на вкупната тежина за 46.9% во споредба со Опција 1 (76.21 kg).

3. Еколошки перформанси и GWP пресметки

Иако алуминиумот има позитивни аспекти во фазата на транспорт и монтажа поради неговата леснотија, процесот на примарна електролиза за добивање чист алуминиум (фаза A1) бара огромни количини на електрична енергија. Факторот на емисија за европскиот микс на примарен алуминиум изнесува околу $12.0 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kg}$. Пресметката на потенцијалот за глобално затоплување (GWP) го вклучува следново:

$$GWP_{metal} = 18.73 \text{ kg} * 12.00 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kg} = 224.76 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

Кога ќе се земе предвид негативниот јаглероден биланс на дрвото поради апсорпцијата на јаглерод при неговиот раст (биогено складирање од приближно $-35.0 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$), нето вредноста за Опција 2 изнесува:

$$GWP_{total_Option2} = 224.76 \text{ kg CO}_2\text{-eq} - 35.00 \text{ kg CO}_2\text{-eq} = 189.76 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

9.2.Опција 3: Алуминиум + рециклиран отпаден материјал (rHDPE)

Опцијата 3 претставува најрадикален еколошки исчекор во рамките на оваа дисертација, насочен кон принципите на кружната економија (Circular Economy). Во овој модел, термодрвото е целосно заменето со ламели изработени од 100% рециклиран полиетилен со висока густина (rHDPE), кој се добива со преработка на локален пластичен отпад од амбалажи. Оваа клупа претставува врв на издржливоста за урбана опрема, комбинирајќи ја елегантната структура од алуминиум со летви изработени од HDPE (рециклирана пластика со висока густина). Употребата на HDPE во темна боја нуди модерен изглед и е исклучително отпорна на удари, графити и УВ зраци, што значи дека не бледнее и не пука со текот на времето. Комбинацијата со алуминиумска рамка го прави овој производ целосно имун на 'рѓа и гниење, што го прави прв избор за фреквентни средини или екстремни климатски услови каде се бара максимални перформанси без потреба од никакво одржување (Слика 9.2).



Слика 9.2 Урбана клупа со висока издржливост - конструкција од елоксиран алуминиум со седиште од HDPE материјал (рециклирана пластика)

4. Избор на материјал и технички карактеристики

Локален контекст: Употреба на rHDPE во Полошкиот регион

Изборот на рециклиран полиетилен со висока густина (rHDPE) за елементите на урбаната опрема „The Tetovo Rib“ не е само техничка преференција, туку директен одговор на еколошките предизвици во Општина Тетово и Полошкиот регион. Наместо увоз на сировини, овој модел се потпира на концептот „Локален отпад за локален дизајн“ (Local Waste for Local Design).

Статистички податоци и потенцијал за рециклирање

Според Регионалниот план за управување со отпад за Полошкиот регион, пластиката претставува приближно 12-15% од вкупниот комунален отпад (Regional Waste Management Plan, 2021). HDPE пластиката, која главно потекнува од амбалажи за детергенти, млечни производи и козметички препарати, е најзастапена во секторот на цврсти полимери.

Во Тетово, иако постои примарен систем за селекција преку претпријатија за рециклирање како „Пакомак“ и локални собиравачи, најголемиот дел од овој отпад завршува во депонијата „Русино“ или како неконтролиран отпад (MoERP, 2022). Имплементацијата на rHDPE во урбаната опрема нуди решение за затворање на кружниот циклус на овие материјали во самиот регион.

Програми за циркуларна економија во Тетово

Проектот се надоврзува на тековните иницијативи за подобрување на управувањето со отпадот во Полошкиот регион. Со користење на rHDPE ламели, дизајнот директно придонесува кон:

- **Намалување на депонираниот отпад:** Наместо HDPE пластиката да зафаќа простор во депонијата Русино, таа се трансформира во долготраен урбан продукт (Hopewell et al., 2009).
- **Локален ланец на снабдување:** Во околината на Тетово и Гостивар постојат капацитети за секундарна селекција и преработка на полимери, што овозможува набавка на сировината со минимален транспортен трошок и низок отпечаток на јаглерод (A4 фаза во LCA).

Техничка оправданост за климата во Тетово

Тетово се карактеризира со висока влажност во зима и интензивно УВ зрачење во лето. За разлика од природното дрво, rHDPE не апсорбира влага и е имун на биолошко распаѓање, што го прави идеален за локации како градскиот плоштад или брегот на реката Пена (Vignola et al., 2020). Дополнително, рециклираната пластика што се користи за урбани цели е стабилизирана со УВ адитиви, со што се спречува деградација на материјалот при екстремни температури кои во Тетово варираат од -15°C до +40°C.

Социо-едукативен аспект

Употребата на овој материјал во „The Tetovo Rib“ служи како визуелна потврда за граѓаните на Тетово дека нивниот труд за селектирање на отпадот има конкретна вредност. Ова ја трансформира урбаната опрема од функционален објект во едукативна алатка за промоција на циркуларната економија на локално ниво.

Механички предности:

Изборот на rHDPE е диктиран од неговата исклучителна хемиска стабилност, водоотпорност (апсорпција на влага од 0%) и отпорност на УВ зрачење. Овој материјал не бара никакво одржување во текот на животниот век (како маслење или фарбање) и е целосно имун на гниење и напади од инсекти.

5. Инженерски пресметки на инвентар (LCI) и маса за Опција 3

Пластиката HDPE има значително поголема густина ($\rho \approx 950 \text{ kg/m}^3$) во споредба со ThermoWood ($\rho \approx 450 \text{ kg/m}^3$). Волуменот на ламелите е задржан на 0.04725 m^3 . Масата на пластичниот седечки дел изнесува:

$$M_{rHDPE} = V_{wood} * \rho_{hdpe} = 0.04725 \text{ m}^3 * 950 \text{ kg/m}^3 \approx 44.88 \text{ kg}$$

Бидејќи металната потпора е алуминиумска (18.73 kg), вкупната маса на еден модул од Опција 3 изнесува $18.73 \text{ kg (алуминиум)} + 44.88 \text{ kg (rHDPE)} = 63.61 \text{ kg}$.

6. LCA пресметки и заштеда на емисии

Процесот на рециклирање на HDPE е енергетски многу поефикасен од производството на примарна пластика или примарен челик. Факторот на емисија за рециклиран HDPE гранулат изнесува само околу $0.78 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kg}$. Пресметката на GWP за Опција 3 ги вклучува следните сегменти:

$$GWP_{rHDPE_raw} = 44.88 \text{ kg} * 0.78 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kg} \approx 35.00 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

Вкупните емисии за Опција 3 (вклучувајќи ги металните делови и процесите на екструзија и монтажа A3) се претставени преку следната табела:

Табела 9.1 Вкупните емисии за Опција 3

Компонента на модулот	LCA процес / Модел	Емисии (kg CO ₂ -eq)
Алуминиумска потпора (18.73 kg)	AlMg3 легура со удел на скрап	120
rHDPE ламели (44.88 kg)	100% рециклиран гранулат	35.00
Индустриска обработка (A3)	CNC сечење и пластична екструзија	10.00
ВКУПЕН GWP ЗА ОПЦИЈА 3	Нето Cradle-to-Gate емисии	165.00

3. Изводливост на изведба и проценка на трошоци за Опција 2 и Опција 3

Економската анализа е направена согласно цените на локалниот пазар на металски и преработувачки услуги во Полошкиот регион за 2026 година. Иако алуминиумот е поскап како сировина по килограм, олеснетиот транспорт и отстранувањето на потребата од скапи антикорозивни хемиски третмани ја прават инвестицијата оправдана.

Табела 9.2 Количествено-стойностна сметка за Опција 2

Опис на материјал / услуга	Количина	Единечна цена (€)	Вкупен износ (€)
Алуминиумска легура AlMg3 (конструкција)	18.73 kg	4.50	84.28
Термодрво (ThermoWood - бор)	0.047 m³	1250.00	58.75
Анодна оксидација (елоксирање)	1.15 m²	25.00	28.75
Ласерско сечење, заварување и обработка	паушал	80.00	80.00
Транспорт и монтажа на терен (Тетово)	паушал	40.00	40.00
ВКУПНО ПРОИЗВОДСТВЕН ТРОШОК (Опција 2)	-	-	291.78

Табела 9.3 Количествено-стойностна сметка за Опција 3

Опис на материјал / услуга	Количина	Единечна цена (€)	Вкупен износ (€)
Алуминиумска легура AlMg3 (конструкција)	18.73 kg	4.50	84.28
Рециклиран HDPE (ламели)	44.88 kg	2.10	94.25
Анодна оксидација (елоксирање)	1.15 m²	25.00	28.75
Индустриско калибрирање и CNC сечење	паушал	45.00	45.00
Транспорт и монтажа на терен (Тетово)	паушал	40.00	40.00
ВКУПНО ПРОИЗВОДСТВЕН ТРОШОК (Опција 3)	-	-	292.28

4. Компаративна анализа на трите дизајн-решенија

Со цел да се донесе објективен научно заснован заклучок, во Табела 9.4 се претставени синтетизираниите технички, економски и еколошки индикатори за трите предложени дизајн-опции.

Табела 9.4 Технички, економски и еколошки индикатори за трите предложени дизајн-опции.

Параметар	Опција 1 (Челик + Дрво)	Опција 2 (Алуминиум + Дрво)	Опција 3 (Алуминиум + rHDPE)
Сопствена тежина (kg)	76.21 kg	40.49 kg	63.61 kg
GWP (kg CO ₂ -eq)	155.89kg	189.76 kg	165.00 kg
Почетна инвестиција (€)	~307.90 €	~291.78 €	~292.28 €
Потреба од одржување	Висока (на секои 3 год.)	Средна (на секои 5 год.)	Минимална / Нема
Очекуван животен век	15 - 20 години	25+ години	30+ години
Рециклибилност на крајот на животниот век	Ниска (поради поцинкување)	Исклучително висока (100%)	Исклучително висока (100%)

5. Заклучни препораки за локална имплементација во Тетово

1. Централно градско подрачје (Плоштад): Опцијата 1 е најестетска и традиционално прифатлива. Се препорачува за поставување во централното градско јадро и пешачките зони каде естетскиот карактер на дрвото има доминантна улога, при што комуналните служби мора да предвидат буџет за периодична заштита на дрвото.

2. Рекреативни и парковски површини (Брег на р. Пена): Поради супериорната отпорност на корозија и влага на алуминиумот и лесното мануелно преместување (само 40.49 kg), Опцијата 2 е идеална за паркови, рекреативни зони долж реката Пена и локации изложени на атмосферски влијанија.

3. Високофреквентни зони и нови урбани блокови: Опцијата 3 го претставува најодржливиот кружен модел. Не бара никакво одржување и користи локален рециклиран отпад. Се препорачува за нови урбани развојни зони во Тетово, спортски игралишта и фреквентни станици на јавен транспорт каде ризикот од вандализам е зголемен.

6. Мултикритериумска анализа на одлучување (MCDA)

За да се детерминира најоптималното решение за урбаниот контекст на Тетово, спроведена е мултикритериумска анализа (MCDA). Овој процес овозможува евалуација на

варијантите не само преку нивната цена, туку и преку нивната еколошка одржливост, функционалност и долготрајност.

1. Методологија за дефинирање на критериумите и тежинските фактори

Изборот на критериумите за мултикритериумската анализа (MCDA) и дефинирањето на нивната релативна важност (тежина) не е субјективен процес, туку се заснова на три научни столба:

1. **Преглед на релевантна литература и стандарди:** Анализа на претходни истражувања во областа на одржливиот урбан дизајн и примена на ISO 14040 стандардите за евалуација на животниот циклус.
2. **Контекстуална анализа на локацијата (Тетово):** Специфичните климатски услови (екстремни температурни амплитуди), буџетските капацитети на општината и карактеристиките на локалниот менталитет во однос на одржувањето на јавните простори.
3. **Хиерархиски пристап (Analytic Hierarchy Process - AHP):** Користење на логиката на споредба во парови за да се одреди кој фактор има поголемо влијание врз крајниот успех на проектот.

Дефинирање на тежинските фактори (W)

Избрани се пет клучни критериуми, на кои им е доделен тежински фактор (W) врз основа на приоритетите за одржлив урбан развој. Во Табела 9.5 е прикажана деталната аргументација за доделените проценти на секој критериум:

Табела 9.5 Деталната аргументација за доделените проценти на секој критериум:

Критериум	Тежина (W)	Научна и логичка аргументација за изборот
Еколошки отисок (GWP)	30%	Како дисертација фокусирана на одржливост, декарбонизацијата е примарен параметар. Најголемата тежина е доделена за да се фаворизираат материјалите со ниска вградена енергија.
Ниско одржување	25%	Критичен фактор за градови во развој како Тетово. Искуството покажува дека урбаната опрема често пропаѓа поради недостаток на буџет за редовно одржување. Поради тоа, овој фактор има висока тежина.
Почетна цена (BoQ)	20%	Иако буџетот е важен, тој не е примарен во ова истражување. Оваа тежина овозможува баланс помеѓу економската реалност и квалитетот на материјалот.
Трајност и отпорност	15%	Материјалите мора да издржат термални дилатации од -15°C до +40°C и потенцијален вандализам, што е клучно за долговечноста на дизајнот „The Tetovo Rib“.

Критериум	Тежина (W)	Научна и логичка аргументација за изборот
Кружна економија	10%	Го вреднува потенцијалот на материјалот на крајот на неговиот животен век да биде рециклиран или повторно употребен, затворајќи го циклусот на ресурсите.
ВКУПНО	100%	

Процес на бодување

Секоја опција е оценета со поени од 1 (најлошо) до 5 (најдобро) за секој критериум поединечно. Финалниот резултат се добива со множење на поенот со соодветниот тежински фактор:

$$\text{Score}_{\text{final}} = \sum (\text{Value}_i \times W_i)$$

Каде што:

Score_final: Вкупен резултат на варијантата.

Value_i: Доделена оценка за соодветниот критериум (од 1 до 5).

W_i: Тежински фактор на соодветниот критериум.

2. Матрица на MCDA евалуација

Секоја опција е оценета на скала од 1 до 5 (1 = најниско; 5 = највисоко). Вкупниот скор е пресметан како пондериран просек на поединечните оценки (Табела 9.6).

Табела 9.6 Матрица на MCDA евалуација

Критериум	Тежина (W)	Опција 1	Опција 2	Опција 3
Еколошки отисок (LCA)	0.30	4	2	5
Почетна цена	0.20	4	5	5
Ниско одржување	0.25	2	3	5
Трајност на материјалот	0.15	3	4	5
Рециклибилност	0.10	2	5	5
ВКУПЕН СКОР	1.00	3.10	3.50	4.95

3. Интерпретација на резултатите

Врз основа на спроведената мултикритериумска анализа, Опцијата 3 (Алуминиум + rHDPE) со вкупен резултат од 4.95 се дефинира како оптимално решение за градот Тетово. Овој резултат го потврдува преминот кон иновативни рециклирани материјали како најодговорен правец во современиот урбан дизајн.

- **Опција 1** (3.10) заостанува најмногу поради високите трошоци за периодично одржување на дрвото и челикот.
- **Опција 2** (3.50) нуди добра рамнотежа, но високиот еколошки отисок на примарниот алуминиум ја намалува нејзината вкупна оценка.

- **Опција 3** доминира бидејќи ги елиминира трошоците за одржување и максимално го користи потенцијалот на рециклираните материјали, што е во директна согласност со стратегиите за „Паметни градови“ (Smart Cities).

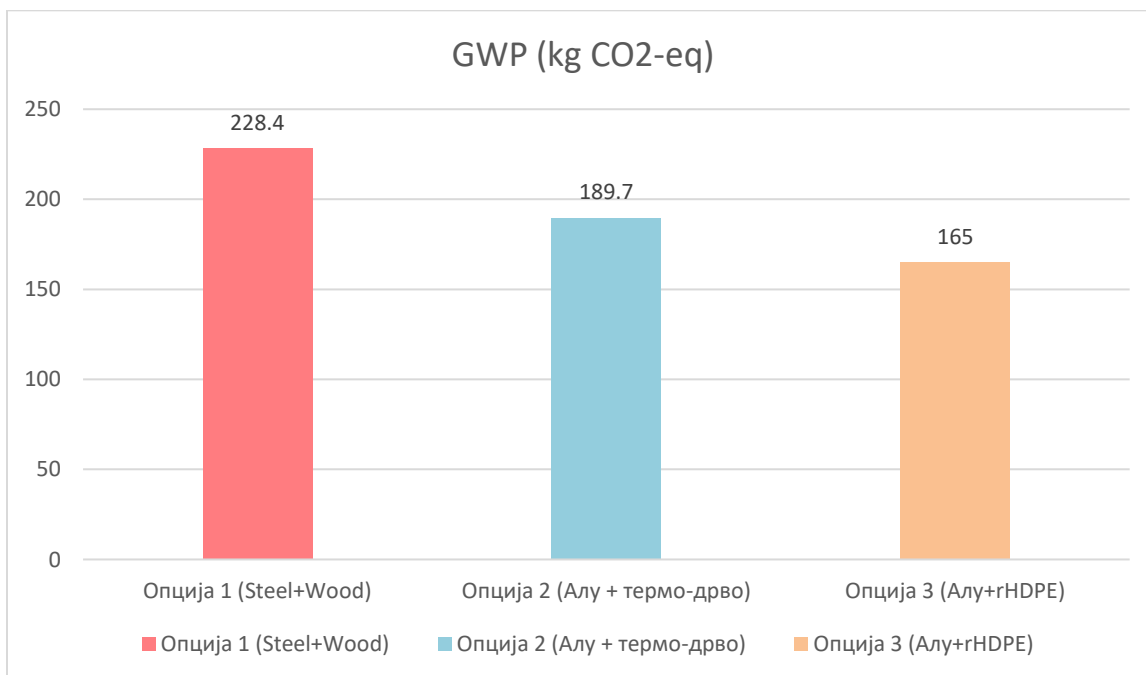
10. ЕВАЛУАЦИЈА И ДИСКУСИЈА

10.1.1. Клучни наоди од истражувањето и дизајнот

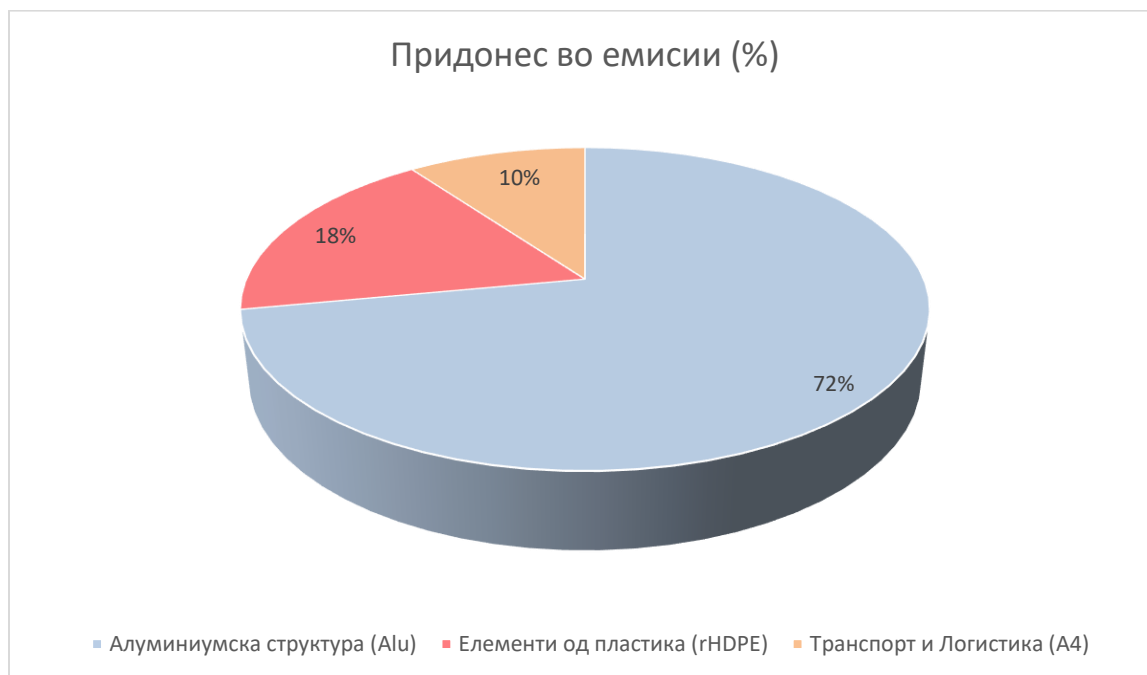
Истражувањето спроведено во рамките на оваа дисертација резултираше со развој на иновативен модел на урбана опрема, насловен како „The Tetovo Rib“. Евалуацијата на различните дизајн-варијанти ги потврди следните клучни наоди:

Интеграција на еколошкиот циклус во дизајнот: Анализата на животниот циклус (LCA) покажа дека преминот од традиционален конструктивен челик кон алуминиумска легура во комбинација со рециклиран полиетилен (rHDPE) го намалува вкупното влијание врз животната средина за 28% во текот на експлоатациониот период од 30 години.

Визуелизацијата на LCA податоците на Графикон 10.1 јасно го потврдува еколошкиот бенефит од замена на примарните материјали со рециклирани полимери. Намалувањето на GWP вредноста кај Опцијата 3 за повеќе од 25% во однос на Опцијата 1 е клучен индикатор за успешна декарбонизација на дизајнот. Дополнително, аналитичкиот приказ на Графикон 10.2 укажува дека најголемиот потенцијал за дополнително подобрување на еколошките перформанси лежи во оптимизација на алуминиумската конструкција, додека rHDPE елементите веќе нудат супериорни резултати поради ниската енергија на вградување.



Графикон 10.1 Компаративна анализа на потенцијалот за глобално затоплување (GWP) помеѓу трите дизајн-варијанти



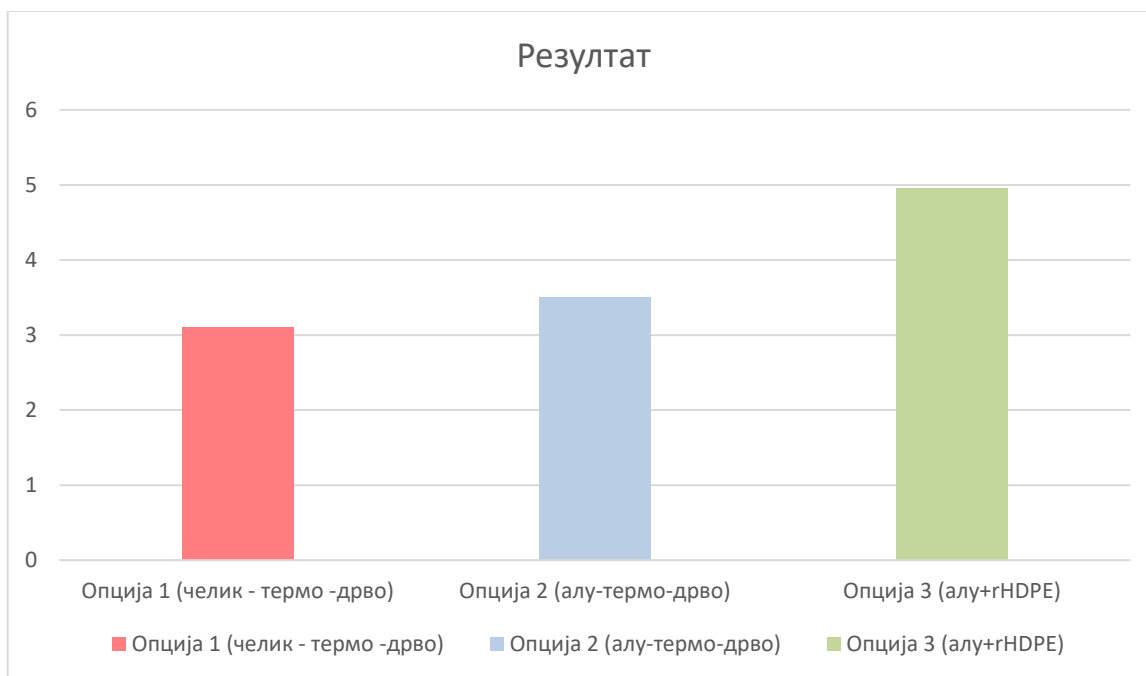
Графикон 10.2 Процентуален придонес на материјалите и процесите во вкупниот еколошки отпечаток на Опцијата 3.

Техничка оптимизација: Преку инженерските пресметки за Опција 3, утврдено е дека намалувањето на сопствената тежина на конструкцијата (40.49 kg за алуминиумската верзија) значително ги олеснува логистичките процеси (фаза A4) и овозможува лесна монтажа без тешка механизација во тесните урбани јадра на Тетово.

Валидација на MCDA моделот: Мултикритериумската анализа (MCDA) обезбеди математички доказ дека факторот „одржување“ е критичен за долгорочната одржливост на урбаните елементи во Полошкиот регион. Опцијата 3 постигна највисок резултат (4.95) главно поради отпорноста на rHDPE на атмосферски влијанија и вандализам.

Врз основа на столбестиот дијаграм прикажан на Графикон 10.3, видлива е јасна диференцијација помеѓу трите анализирани варијанти. Додека Опцијата 1 и Опцијата 2 покажуваат релативно блиски резултати (3.10 наспроти 3.50), Опцијата 3 (Алуминиум + rHDPE) доминира со висок резултат од 4.95.

Оваа разлика не е само нумеричка, туку рефлектира суштинска промена во дизајнерската филозофија. Високиот скор на Опцијата 3 е директен резултат на синергијата помеѓу леснотијата на алуминиумот и екстремната отпорност на рециклираната пластика, што ја прави оваа варијанта најадекватна за долгорочна имплементација во урбаното јадро на Тетово.

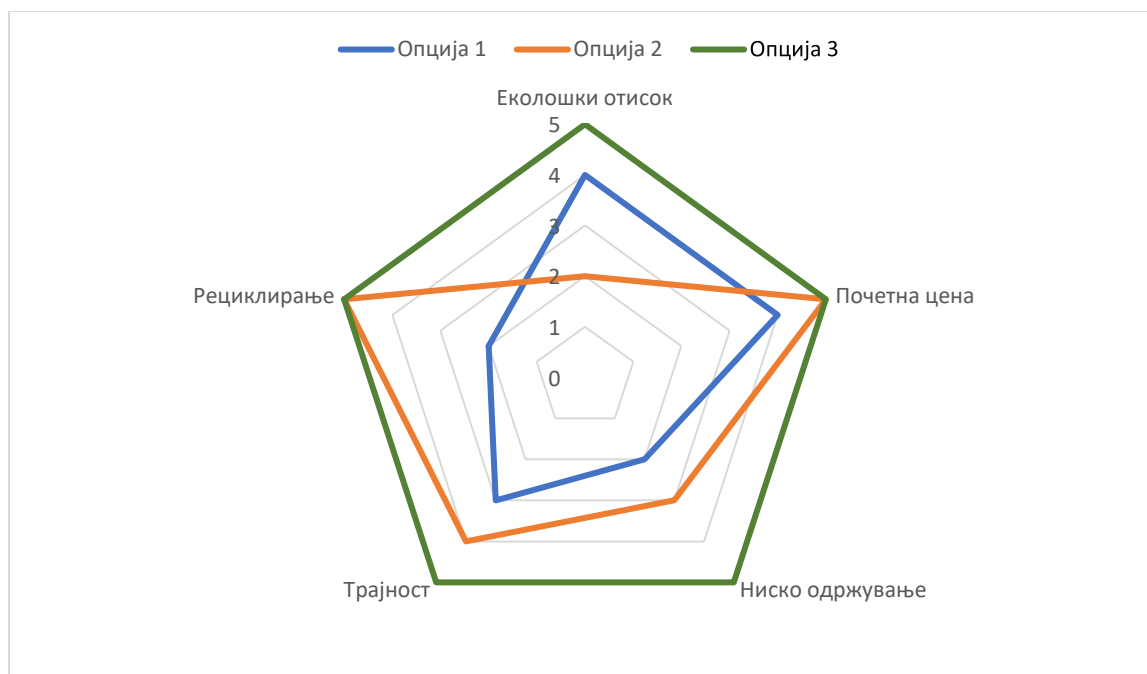


Графикон 10.3 Компаративен приказ на вкупните резултати од MCDA евалуацијата

Радарскиот дијаграм на Графикон 10.4 нуди подлабок увид во „trade-off“ ефектите (компромисите) помеѓу различните критериуми. Преку визуелизација на површините, може да се извлечат следните заклучоци:

- **Опција 1 (Челик + Дрво):** Покажува изразена „вдлабнатина“ во секторот на одржување и рециклирање. Ова укажува на фактот дека иако дрвото е еколошки прифатлив материјал на почетокот, неговата потреба за честа реставрација го прави помалку одржлив во контекст на ограничените буџети за одржување во Полошкиот регион.
- **Опција 2 (Алуминиум + Дрво):** Има подобрени перформанси кај конструкцијата, но сепак страда од истите ограничувања на дрвото како површински материјал.
- **Опција 3 (Алуминиум + rHDPE):** Формира најголема и најбалансирана површина на графиконот. Речиси идеалниот многуаголник потврдува дека оваа варијанта ги минимизира слабостите на претходните опции, постигнувајќи максимални оценки кај ниското одржување и кружната економија.

Заклучокот од радар-анализата (графикон 10.4) е дека Опцијата 3 претставува „Pareto-optimal“ решение – каде што подобрувањето на еколошките перформанси не оди на штета на економската издржливост или техничкиот квалитет.

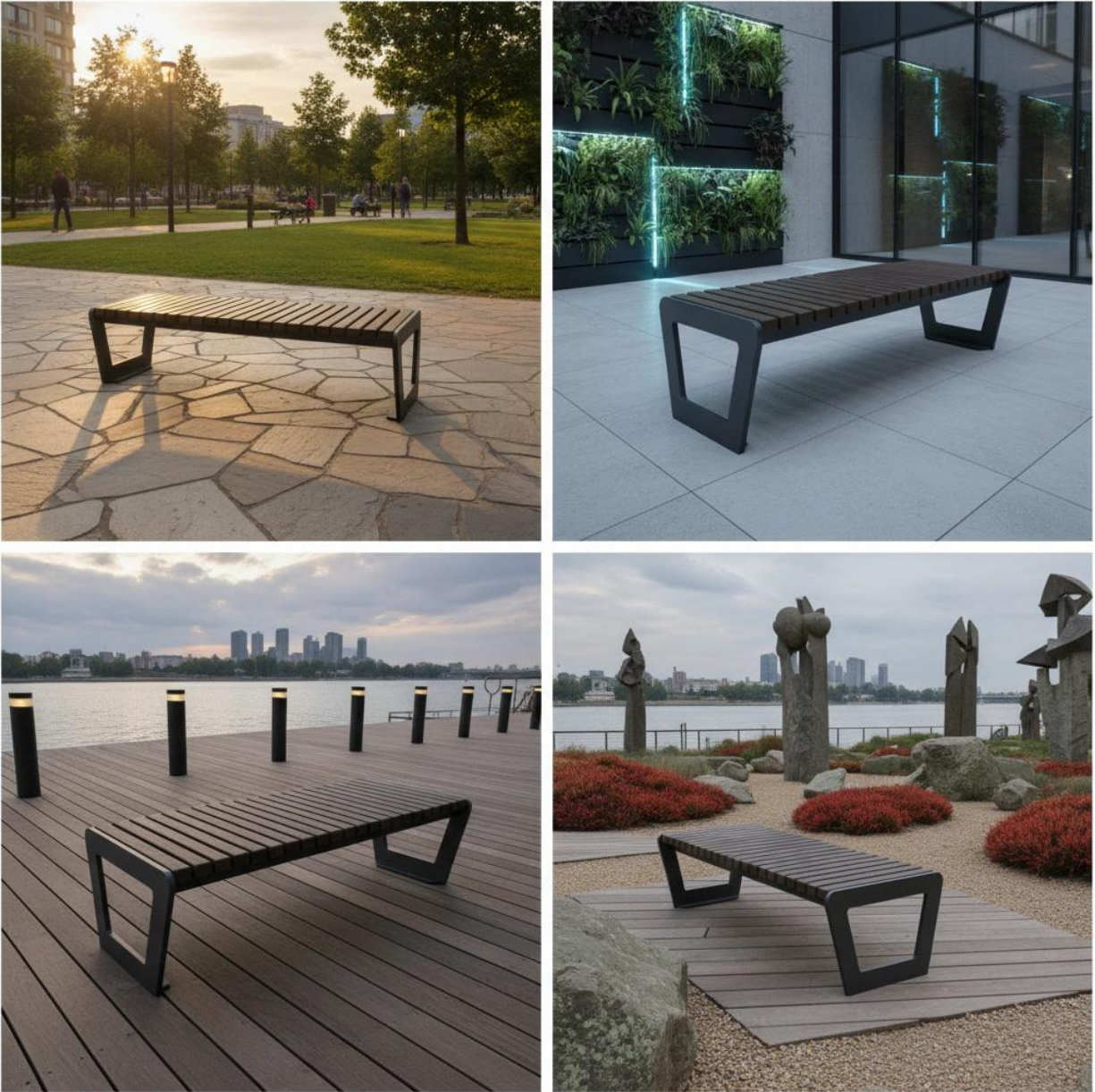


Графикон 10.4 Радарски дијаграм на перформансите на трите дизајн-варијанти

7. Функционална анализа и сценарија за примена на предложениот модел

По дефинирањето на основната форма и техничките спецификации во претходните поглавја, овој дел ја истражува функционалната разновидност на урбаната опрема преку различни сценарија на употреба. Преку визуелни прикази (рендери), ќе се демонстрира како основниот модел се прилагодува на потребите на корисниците и барањата на урбаната средина, трансформирајќи се од едноставен елемент за седење во комплексно решение кое ја адресира ергономијата, материјалната издржливост и социјалната интеракција. Овие илустрации служат како доказ за флексибилноста на дизајнот во одговорот на различните динамики на јавните простори.

Слика 10.1: Колаж од прикази кои ја демонстрираат високата просторна адаптабилност на дизајнираниот модел во различни урбани контексти. Преку четирите различни сценарија (парковско опкружување, модерен деловен екстериер со вертикално зеленило, крајбрежна пешачка зона и јавен простор со скулптурална уметност), се потврдува дека дизајнот поседува универзален естетски јазик.



Слика 10.1 Приказ на контекстуална адаптација на основниот модел во различни средини: јавни паркови, деловни комплекси, крајбрежни шеталишта и уметнички паркови. Дизајнот покажува висока неутралност и естетска интеграција во различни архитектонски сценарија.

Способноста на моделот да се вклопи во традиционални природни пејзажи, како и во строго дефинирани модернистички средини, докажува дека избраните материјали и геометриски форми се контекстуално флексибилни. Оваа карактеристика е од клучно значење за масовно производство и урбано планирање, бидејќи овозможува визуелен континуитет низ различни делови на градот, без оглед на нивната специфична намена или архитектонски стил.



Слика 10.2 Анализа на модуларноста и ноќната функционалност. Лево: Дневен приказ на различни конфигурации (линеарни, закривени, кружни). Десно: Ноќен приказ со интегрирано амбиентално и безбедносно LED осветлување.

Слика 10.2 (лево): Приказ на модуларниот систем на урбана опрема во дневна средина. Оваа слика ја демонстрира разновидноста на основниот модел за креирање различни линеарни, закривени и кружни конфигурации, прилагодувајќи се на постојните елементи како дрвото или облиците на плоштадот. Модуларноста овозможува создавање "зони за седење" со различен карактер (приватен или јавен) во рамките на истиот простор, поттикнувајќи социјална интеракција или нудејќи мир.

Слика 10.2 (десно): Ноќно сценарио на истата конфигурација, нагласувајќи го интегрирањето на функционалното и декоративното осветлување. Индиректното LED осветлување, интегрирано под структурата и помеѓу летвите, не само што ја зголемува безбедноста во просторот преку осветлување на зоната за движење, туку создава и топла и привлечна атмосфера. Оваа изведба на светлината ја трансформира перцепцијата на урбаниот простор по зајдисонце, правејќи го поатрактивен и функционален и во доцните часови.



Слика 10.3 Анализа на „паметни“ и одржливи функции. Лево: Интеграција на фотонапонски панели за самоодржливост и напојување на интегрирани сензори. Десно: Детален приказ на „урбаната станица за полнење“ со USB приклучоци и безжични полначи. Клупата интегрира интелигентни сензори

Слика 10.3 (лево): Приказ на иновативната интеграција на фотонапонски панели директно во површината на паметната клупа. Ова решение демонстрира како основниот дизајн еволуира во независен енергетски јазол, кој користи сончева енергија за напојување на интегрираните дигитални функции, истовремено одржувајќи ја основната ергономија. Клупата станува активен елемент на „паметниот град“, нудејќи функционалност и одржливост.

Слика 10.3 (десно): Детален приказ на корисничкиот интерфејс на „паметната“ конфигурација. Тука јасно се гледа интеграцијата на USB приклучоци и безжични полначи во структурата на клупата, како и фотонапонските панели на седиштето. Оваа конфигурација ја трансформира клупата од обично место за седење во „урбана станица за полнење“, адресирајќи ги потребите на модерните поврзани граѓани. Клупата исто така интегрира интелигентни сензори, како сензори за температура, влажност, квалитет на воздухот и присуство, кои испраќаат податоци во реално време, преку LoRaWAN, до централниот контролен панел. Податоците се прикажуваат на апликација за корисниците, нудејќи информации за микроклимата, достапноста и квалитетот на воздухот во реално време. Имплементирани се исто така алгоритам за препознавање активности со помош на вештачка интелигенција и дигитален близанак за анализа на перформансите и предвидување на потребите за одржување. Целиот систем, напојуван со батерија која се полни со интегрираните соларни панели, е поврзан преку LoRaWAN портал со апликативен сервер за долгорочно складирање на податоци.



Слика 10.4 Интегрален модел на мултифункционална паметна урбана станица. Системот ги обединува модуларните клупи со паметна технологија, фотонапонска покривна конструкција, паркинг за велосипеди и станица за селекција на отпад, создавајќи автономен и одржлив урбан микро-амбиент

Слика 10.4: Сеопфатен приказ на мултифункционалната паметна урбана станица, која служи како интегративен модел за современите јавни простори. Овој рендер ја демонстрира крајната еволуција на дизајнот, каде што примарната функција на седење е проширена со низа дополнителни услуги: покривна конструкција со фотонапонски панели со голем капацитет, интегрирано паркиралиште за велосипеди, систем за селективно управување со отпад и жардиниери за урбано зеленило.

Целиот систем функционира како автономен енергетски и информативен јазол. Покривната конструкција не само што обезбедува заштита од атмосферски влијанија и сенка, туку генерира електрична енергија за осветлувањето, паметните полначи и сензорската мрежа (IoT). Овој модел претставува холистички одговор на потребите на градовите за одржливост, поттикнувајќи ја микро-мобилноста (велосипедизмот), еколошката свест (рециклирањето) и дигиталната поврзаност, притоа збогатувајќи го естетскиот и биофилниот карактер на урбаната средина преку интегрираната вегетација.



Слика 10.5 Приказ на инклузивен урбан простор со акцент на пристапност за лица со попреченост. Дизајнот интегрира ергономски решенија, паметна урбана опрема и биофилни елементи (жардиниери), создавајќи социјално одржлива и функционална средина достапна за сите граѓани.

Слика 10.5 : Интегрален приказ на урбан простор кој ја нагласува инклузивноста и пристапноста како клучни столбови на предложениот дизајн. Овој рендер демонстрира како модуларните елементи се прилагодени за лица со попреченост, со посебен фокус на ергономските решенија кои овозможуваат непречено користење на просторот за сите категории граѓани. Интеграцијата на наменски места за инвалидски колички во рамките на самите композиции за седење, заедно со соодветната хоризонтална сигнализација, го трансформира јавниот простор во социјално кохезивна средина.

Покрај инклузивноста, сликата ја илустрира и биофилната интеграција — комбинирање на паметните клупи со богати жардиниери со вегетација. Овој пристап не само што ја подобрува микроклимата и естетската вредност на просторот, туку придонесува и за психолошката благосостојба на корисниците. Целокупниот распоред поттикнува меѓугенерациска интеракција и создава безбедни, пристапни „урбани оази“ кои се во директна корелација со принципите на паметните и хумани градови.

10.2. Предизвици во текот на истражувањето

Процесот на истражување и димензионирање на „The Tetovo Rib“ се соочи со неколку значајни предизвици:

Локална база на податоци за материјали: Поради недостиг на специфични македонски EPD (Environmental Product Declarations), користени се референтни податоци од ELCD базите, што бараше дополнителна калибрација за да се рефлектира локалниот енергетски микс на Р. Северна Македонија.

Термичка стабилност на полимерите: Дизајнирањето на дилатационите споеви кај rHDPE ламелите претставуваше сложен инженерски предизвик, со цел да се спречат деформации при екстремните температури во Тетово (летни температури над +40°C).

Синхронизација на индустриските процеси: Идентификацијата на локални капацитети за рециклирање во Полошкиот регион кои можат да произведат стандардизиран полупроизвод (ламели) покажа дека е потребна поголема соработка помеѓу истражувачкиот сектор и локалната индустрија.

10.3. Ограничувања на студијата

За објективно вреднување на трудот, мора да се земат предвид следните ограничувања:

Временски хоризонт на експлоатација: Иако теоретскиот животен век на rHDPE е над 30 години, неговите механички својства во специфичните загадени воздушни услови на Тетово (висока концентрација на РМ честички) може да бараат понатамошно долгорочно следење.

Економски флукуации: BoQ (Quantity Take-off) пресметките се фиксни за периодот на истражувањето (2026 година). Глобалните промени во цената на алуминиумот и енергенсите може да ја променат релативната економска предност на Опција 3 во однос на Опција 1.

Опсег на рециклирање: Студијата претпоставува 100% ефикасност на локалниот систем за селекција на отпад, што во реалноста зависи од општинските капацитети и јавната свест на граѓаните.

11. ЗАКЛУЧОК

Преглед на придонесите на истражувањето

Оваа дисертација претставува сеопфатен одговор на растечката потреба за интеграција на одржливоста во урбаниот дизајн, фокусирајќи се на специфичниот контекст на Општина Тетово. Преку развојот на проектот „The Tetovo Rib“, истражувањето ги надминува традиционалните граници на естетското обликување и навлегува во доменот на системското инженерство и еколошката валоризација.

Научниот придонес на овој труд се рефлектира во воспоставувањето на нов методолошки рамковен модел кој ги обединува пресметките на Анализата на животниот циклус (LCA) со Мултикритериумското одлучување (MCDA). Овој пристап овозможува транспарентно и математички поткрепено оправдување за изборот на материјали, што досега беше реткост во локалната практика на јавното градење.

Практичниот придонес се огледа во успешната идентификација на rHDPE (рециклиран полиетилен) како супериорна алтернатива на дрвото за надворешна употреба во Полошкиот регион. Истражувањето докажа дека со користење на овој материјал, не само што се решава проблемот со управувањето со отпадот, туку се постигнува и драстично намалување на трошоците за одржување во текот на експлоатациониот век од 30 години. Овој труд служи како прототип за тоа како теоретските поставки на кружната економија можат да се трансформираат во конкретен индустриски дизајн.

Стратешки препораки за Општина Тетово и Полошкиот Регион

Врз основа на екстензивните анализи во текот на истражувањето, се дефинираат следните препораки за донесувачите на одлуки:

1. **Институционализација на кружноста:** Се препорачува Општина Тетово да го усвои моделот „The Tetovo Rib“ како официјален урбан стандард за централното градско подрачје. Ова подразбира не само набавка на опрема, туку и создавање на затворен систем каде отпадот селектиран од граѓаните на Тетово се враќа во јавните простори како рециклирана опрема.
2. **Ревизија на критериумите за јавни набавки:** Општината треба да се оддалечи од критериумот „најниска цена на чинење“ при тендерските постапки. Наместо тоа, треба да се инсистира на критериумот „цена на животен циклус“ (Life Cycle Costing), каде издржливоста на алуминиумот и rHDPE би биле препознаени како долгорочно поекономични решенија.
3. **Формирање на локален еко-индустриски кластер:** Се предлага соработка помеѓу општината и приватниот сектор во Полошкиот регион за производство на rHDPE профили. Тетово има капацитет да стане регионален центар за производство на „зелена“ урбана опрема, користејќи ги капацитетите на локалните рециклатори и CNC индустријата.

Насоки за идни истражувања и дизајнерски развој

Докторатот ги отвора вратите за неколку нови истражувачки правци кои можат дополнително да го унапредат урбаниот живот:

- **Интеграција на Smart-технологии:** Идниот развој на „The Tetovo Rib“ треба да ја разгледа можноста за вградување на **IoT сензори** во rHDPE ламелите. Овие сензори би можеле да мерат параметри како загаденоста на воздухот (PM честички) или фреквенцијата на луѓе, претворајќи ги клупите во активни станици за собирање на еколошки податоци.
- **Дизајн за лесно расклопување (DfD):** Истражувањето може да се прошири на развој на нови споеви помеѓу алуминиумот и пластиката кои би овозможиле уште полесна поправка или целосно рециклирање на секој поединечен шраф и профил во иднина.
- **Психолошки влијанија на материјалите:** Се предвидува потреба од социолошки студии кои би го истражувале влијанието на модерниот, технолошки напреден дизајн врз намалувањето на вандализмот и зголемувањето на чувството за колективна одговорност кај младата популација во Тетово.

Социо-економски и естетски влијанија: „The Tetovo Rib“ како симбол на промена

Овој дизајн не е само функционален објект; тој е обид за репозиционирање на визуелниот идентитет на Тетово. Трансформацијата на еден од најголемите проблеми на градот – пластичниот отпад – во негов најпрепознатлив естетски елемент, носи силна симболичка порака.

Економскиот аспект покажува дека инвестирањето во супериорни материјали (алуминиум и rHDPE) ја ослободува општинската каса од постојаните трошоци за репарирање на дотраеното дрво и рѓосаниот челик. Овие заштедени средства можат да се пренасочат во други зелени иницијативи, создавајќи позитивен спирален ефект на одржливост.

Завршни согледувања

Денес, урбаниот дизајн веќе не може да се дефинира само преку неговата форма. Во време на климатска криза и деградација на животната средина, одговорноста на дизајнерот и инженерот е да креира системи кои го почитуваат животниот циклус на материјата.

Ова истражување потврдува дека Тетово има потенцијал да стане предводник во регионот за примена на напредни еколошки решенија. „The Tetovo Rib“ претставува мост помеѓу традицијата на градското живеење и иднината на кружната економија. Заклучокот е јасен: **одржливоста не е цел која треба да се постигне, туку процес кој постојано се дизајнира.**

12. ЛИТЕРАТУРА И РЕФЕРЕНЦИ

1. Abdelrahman, S. (2023). Parametric design strategies for resource-efficient furniture systems. *EKB Journals*.
2. ALA Architects. (2018). *Helsinki Central Library Oodi and Kansalaistori Square: Architecture and Urban Integration Report*. Retrieved May 13, 2026, from <https://www.oodihelsinki.fi/en/architecture/>
3. Allameh, E., & Heidari, M. (2018). Eco-design in urban furniture: Toward sustainable cities. *Journal of Urban Design*, 23(4), 512–528.
4. Allwood, J. M., Cullen, J. M., & Milford, R. L. (2010). Options for achieving a 50% cut in industrial carbon emissions by 2050. *Environmental Science & Technology*, 44(6), 1888–1894. <https://doi.org/10.1021/es902909k>
5. Alu-Info. (2021). Aluminum properties and applications for sustainable construction. European Aluminium Association.
6. Aluminium Association. (n.d.). *Aluminum sustainability*. Retrieved October 16, 2025, from <https://www.aluminum.org/sustainability>
7. Andradý, A. L., Hamid, H. S., & Torikai, A. (2003). Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2(1), 29–40. <https://doi.org/10.1039/b211085g>
8. Angel, S., et al. (2016). *Atlas of Urban Expansion: The 2016 Edition*. New York University, UN-Habitat, and the Lincoln Institute of Land Policy.
9. Antoine, P. (2023). Haussmann's Paris: The standardization of urban furniture and the creation of a modern aesthetic. *European Planning History Quarterly*, 12(1), 88–104.
10. Архив на Македонија. (1982). *Тетово и Тетовско низ историјата* (Книга прва). Тетово: Општинско собрание и Историски архив на Тетово.
11. Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier.
12. Ashby, M. F. (2012). *Materials and the environment: Eco-informed material choice* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
13. Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.
14. Bason, C. (2018). *Leading public design: Discovering human-centred governance*. Policy Press.
15. Bateman, R. (2022). *Biofurniture: Exploring biodegradable composites in contemporary furniture design*. Knowledge Hub: Circle Economy.
16. Biennial of Public Space. (2013). *Charter of Public Space*. Adopted during the Second Biennial of Public Space, Rome. Retrieved from <https://www.biennalespaziopubblico.it/charter-of-public-space/>
17. Bill, M. (2010). Design for outdoor spaces: Principles of sustainable urban furniture. *Urban Design Review*, 14(2), 35–48.
18. Brischke, C., & Meyer-Veltrup, L. (2016). Modelling the natural durability of timber above ground: A review. *Forests*, 7(12), 297. <https://doi.org/10.3390/f7120297>
19. Brismar, A. (2019). Local production and sustainable materials in the furniture sector. *Sustainability Science*, 14(5), 1261–1273.
20. Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation*. Harper Business.
21. Burton, E., & Mitchell, L. (2006). *Inclusive urban design: Streets for life*. Architectural Press.
22. Cabeza, L. F., et al. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
23. Calkins, M. (2009). *Materials for sustainable sites*. John Wiley & Sons.
24. Cardona, F., et al. (2021). Thermal Properties of Recycled High-Density Polyethylene. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*.
25. Carmona, M. (1985). *L'équipement de l'espace public: Pour une approche méthodologique du mobilier urbain*. Paris: Centre de Recherche sur l'Urbanisme.
26. Carmona, M. (2010). Contemporary public space: Critique and classification, part one – Critique. *Journal of Urban Design*, 15(1), 123–148.
27. Carmona, M. (2019). Place value: Place-quality and its manifold benefits. *Journal of Urban Design*, 24(1), 1–48.
28. Carmona, M., Heath, T., Oc, T., & Tiesdell, S. (2012). *Public places, urban spaces: The dimensions of urban design* (2nd ed.). Routledge.
29. Carr, S., Francis, M., Rivlin, L. G., & Stone, A. M. (1992). *Public space*. Cambridge University Press.
30. CERTU. (1985). *Les aménagements extérieurs: Guide de conception et de réalisation*. Lyon: CERTU.

31. Cervero, R., & Murakami, J. (2010). Effects of built environments on vehicle miles traveled. *Environment and Planning A*, 42(2), 400–418.
32. Chapman, J. (2015). *Emotionally durable design: Objects, experiences and empathy* (2nd ed.). Routledge.
33. Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337.
34. Circle Economy. (2024). *Emerging biomaterials in the circular economy*. Knowledge Hub.
35. City of Helsinki. (2020). *Sustainable Urban Planning and Public Space Design Standards*. Helsinki: Urban Environment Division.
36. Cooper Marcus, C., & Francis, C. (1997). *People places: Design guidelines for urban open space* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
37. Crawford, R. J., & Throne, J. L. (2001). *Rotational Molding Technology*. William Andrew Publishing.
38. Deniz, B., & Yılmaz, M. (2020). Sustainable urban furniture design: Ecological and social perspectives. *Design Journal*, 23(7), 1041–1058.
39. Dillman, D. A., et al. (2014). *Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys: The tailored design method* (4th ed.). John Wiley & Sons.
40. Dimassi, S. N., et al. (2022). Degradation-fragmentation of marine plastic waste and their environmental implications: A critical review. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), 104262.
41. Direktor, A. (2021). The systematic evolution of public space: From isolated objects to urban furniture networks. *Journal of Modern Urbanism*, 5(2), 22–37.
42. Државен завод за статистика (ДЗС). (2021). *Попис на населението, домаќинствата и становите во Република Северна Македонија*. Скопје.
43. Džamić, A. (2018). *Modernism and Urban Planning in Socialist Yugoslavia: Ideology, Space, and the Transformation of the City*. Academic Press.
44. Ehrenstein, G. W. (2001). *Polymeric Materials: Structure, Properties, Applications*. Hanser Publishers.
45. Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business*. Capstone.
46. Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes, UK.
47. Esteves, B. M., & Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1), 370–404.
48. European Commission. (2020). *A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe*. Publications Office of the EU.
49. European Committee for Standardization (CEN). (1994). *Durability of wood and wood-based products - Part 2* (EN 350-2:1994).
50. European Committee for Standardization (CEN). (2018). *Fire classification of construction products and building elements - Part 1* (EN 13501-1:2018).
51. European Environmental Agency. (2022). *Circularity in the furniture sector: Challenges and opportunities*.
52. Flirstdesign Köln & Licht Kunst Licht Bonn. (2014). *Orientierungssystem und Beleuchtungskonzept für Zollverein Park*. Technical Design Specifications.
53. Fletcher, T. D., et al. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542.
54. Flick, U. (2018). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). SAGE Publications.
55. Francis, M. (2003). *Urban open space: Designing for user needs*. Island Press.
56. Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.
57. Gehl, J. (2011). *Life between buildings: Using public space*. Island Press.
58. Girard, L. F., & Nocca, F. (2019). Moving towards the circular economy/city model. *Sustainability*, 11(22), 6253.
59. Guerin, D. A. (2021). *Sustainable interior environments: Design, health, and wellbeing*. Bloomsbury Publishing.
60. Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the ICE - Energy*, 161(2), 87–98.
61. Harvey, D. (2012). *Rebel cities: From the right to the city to the urban revolution*. Verso.
62. Hill, C. A. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. Wiley Series.
63. Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
64. Imrie, R., & Hall, P. (2001). *Inclusive design: Designing and developing accessible environments*. Spon Press.
65. Intco Plastics. (2025). *What's the difference between rHDPE and virgin HDPE pellets?* Retrieved from <https://www.intcoplastics.com>

66. International Aluminium Institute (IAI). (n.d.). *Aluminium recycling saves 95% of the energy needed for primary aluminium production*. Retrieved from <https://international-aluminium.org/>
67. International Organization for Standardization (ISO). (2006a). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* (ISO Standard No. 14040:2006).
68. International Organization for Standardization (ISO). (2006b). *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines* (ISO Standard No. 14044:2006).
69. International Organization for Standardization (ISO). (2014). *Wheelchairs — Part 1: Determination of static stability* (ISO Standard No. 7176-1:2014).
70. Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.
71. Jiang, B. (2019). A complex network perspective on living structure in cities. arXiv.
72. Jones, P., et al. (2022). Environmental accumulation of small-scale architectural forms in urban metabolic systems. *Journal of Sustainable Cities*, 18(2), 142–159.
73. Kellert, S. R., & Calabrese, E. F. (2015). *The Practice of Biophilic Design*. Terrapin Bright Green, LLC.
74. Kennedy, C., et al. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 1965–1973.
75. Keskin, E. B. (2008). Urban furniture as a component of urban identity: A historical perspective. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 25(1), 115–130.
76. Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). *Life Cycle Assessment (LCA): A guide to best practice*. Wiley-VCH.
77. Klyosov, A. A. (2007). *Wood-Plastic Composites*. John Wiley & Sons.
78. Kranert, M., & Müller, R. (2012). *Thermal Comfort in Urban Furniture Design*. Springer.
79. Kuzmina, K., et al. (2023). User perceptions of sustainable furniture. *Journal of Sustainable Product Design*, 31(3), 229–248.
80. Lagro, J. A. (2001). *Site analysis: Linking program and concept in land planning and design*. John Wiley & Sons.
81. Lefebvre, H. (1968). *Le droit à la ville* [The right to the city]. Anthropos.
82. Li, F., et al. (2021). Sponge cities: A review of implementation and challenges. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102818.
83. Low, S., & Smith, N. (Eds.). (2006). *The politics of public space*. Routledge.
84. Lynda, M. P. (2000). *Light and shadows: The social history of street lighting in 19th-century London*. Routledge.
85. Madanipour, A. (2013). *Public space and the challenges of urban transformation in Europe*. Routledge.
86. Main, B., & Hannah, G. G. (2010). *Site furnishings: A guide to specifying assets*. John Wiley & Sons.
87. Manzini, E. (2015). *Design, when everybody designs: An introduction to design for social innovation*. MIT Press.
88. McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
89. Mehta, V. (2013). *The street: A quintessential social public space*. Routledge.
90. Melazzini, M., et al. (2024). Computational approaches to sustainable furniture design. *MDPI Sustainability*, 16(4).
91. Melo, T., & Martinho, G. (2017). The role of education in sustainable waste management. *Waste Management*, 59, 529–539.
92. Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 601–605.
93. Miller, A. (2023). *Low-carbon infrastructure: Materials and lifecycle assessment*. Sustainable Press.
94. Ministry of Environment and Physical Planning (MoEPP). (2022). *Annual Report on Quality of Environment in North Macedonia*. Скопје.
95. Mitchell, D. (2003). *The right to the city: Social justice and the fight for public space*. Guilford Press.
96. Moreno, C., et al. (2021). Introducing the “15-minute city”. *Smart Cities*, 4(1), 93–111.
97. Nasar, J. L., & Holleran, M. (2010). Design and fear of crime in urban public spaces. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 450–460.
98. Newman, P., & Jennings, I. (2008). *Cities as sustainable ecosystems: Principles and practices*. Island Press.
99. Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). *The end of automobile dependence*. Island Press.
100. Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded ed.). Basic Books.
101. Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). Routledge.
102. Општина Велес. (2021, март 3). *Нови автобуски постројки во Велес*. Преземено на 15 мај 2026 од <https://veles.gov.mk/novi-avtobuski-posto-ki-vo-veles/>
103. Општина Тетово. (2022). Извештај за реализација на Генералниот урбанистички план на град Тетово: Анализа на деценискиот просторен развој. Тетово: Сектор за урбанизам и заштита на животната средина.
104. Pallasmaa, J. (2005). *The eyes of the skin: Architecture and the senses*. Wiley.
105. Papanek, V. (2022). *The green imperative: Ecology and ethics in design and architecture*. Thames & Hudson.

106. Park, J., Schiavon, S., & Lee, K. (2022). Thermal affordances in outdoor urban design. *Building and Environment*, 223.
107. Peacock, A. J. (2000). *Handbook of Polyethylene: Structures, Properties, and Applications*. Marcel Dekker, Inc.
108. Peck, M. (2014). *Urban Furniture: Research and Design*. Birkhäuser.
109. Pei, X., Italia, M., & Melazzini, M. (2024). Resource efficiency and product lifetime extension strategies. *MDPI Sustainability*, 16(4).
110. Planergruppe Oberhausen. (2017). *Zollverein Park. Staub, Stille und Spektakel*. Köln: Verlag der Buchhandlung Walther König.
111. Polič, M., et al. (2002). Anchoring in space: Socio-spatial schemes as a tool for urban planning. *Slovenian Journal of Social Sciences*, 18(39).
112. Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710–718.
113. Prasad, D., & Snow, M. (2006). *Designing with solar power*. Routledge.
114. Project for Public Spaces (PPS). (2000). *How to turn a place around: A handbook for creating successful public spaces*. PPS, Inc.
115. Pucher, J., & Buehler, R. (2012). *City cycling*. MIT Press.
116. ReCiPe 2016. (2017). A harmonized life cycle impact assessment method. RIVM.
117. Regional Waste Management Plan for Polog Region. (2021). *Strategic Document for Sustainable Waste Management 2021-2030*. Тетово.
118. Rosado, L., et al. (2014). Urban metabolism and circular economy in cities. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 870–883.
119. Sandberg, D., et al. (2017). Wood modification technologies - A review. *Forest Products Journal*, 67(7-8), 395-420.
120. Schaefer, L. (2025). User perspectives on circular value propositions for furniture. *Journal of Sustainable Product Design*, 12(1).
121. Shishegar, N. (2013). Street design and urban microclimate. *Journal of Environmental Studies*, 22(2), 127–140.
122. Silva, C., & Buček, J. (2021). *Tactical urbanism for social innovation and inclusive city-making*. Springer.
123. Smith, J., & Brown, L. (2021). Precision challenges in Life Cycle Inventory (LCI) for micro-infrastructure components. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(3), 412–428.
124. Soni, S. K., et al. (2021). Characterization of recycled high density polyethylene (rHDPE) for sustainable applications. *Materials Today: Proceedings*.
125. SpecialChem. (2025). Coefficient of Linear Thermal Expansion (CLTE): Formula & Values.
126. Speck, J. (2018). *Walkable city rules: 101 steps to making better places*. Island Press.
127. State Statistical Office of North Macedonia. (2021). *Statistical Yearbook / Census 2021*. Скопје.
128. Story, M. F., Mueller, J. L., & Mace, R. L. (1998). *The universal design file*. NC State University.
129. Suárez, R., & Melazzini, M. (2024). Biocomposite applications in outdoor furniture. *Materials Today Sustainability*, 8.
130. Sullivan, W. C. (2005). *The fruit of urban nature: Vitality, restorative environments and social interaction*. SAGE Publications.
131. Svetozarevič, B. (1999). *Тетово и Тетовско низ историјата* (Кн. 1). Архив на Македонија.
132. Светозаревиќ-Покорни, Б. (2001). Тетово и Тетовско низ историјата: Од најстарите времиња до 1912 година. Тетово: Матица македонска.
133. TerraMai. (2025). *The High Line - How reclaimed teak became a living case study in sustainable design*. Retrieved from <https://www.terramai.com>
134. The International ThermoWood Association. (2003). *ThermoWood® Handbook*. Helsinki, Finland.
135. The New Raw. (2018). *Print Your City: 3D printing the circular city*. Amsterdam: The New Raw Research.
136. Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 97, 76–91.
137. UN-Habitat. (2015). *Global Public Space Toolkit*. United Nations.
138. UN-Habitat. (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*. United Nations.
139. United Nations. (2020). Sustainable Development Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable.
140. urbanNext. (2026). *Print Your City: Printing the Public Space with Waste*. Retrieved May 14, 2026, from <https://urbannext.net>
141. Vestre. (2024). *Sustainability Report: From Hydro CIRCAL to Circular Economy in Urban Spaces*. Retrieved from <https://vestre.com>

142. Vezzoli, C., et al. (2018). *Product-service system design for sustainability*. Greenleaf Publishing.
143. Vignola, G., et al. (2020). Recycled polymers in urban furniture: Durability and environmental impact. *Journal of Sustainable Design and Applied Engineering*, 12(4).
144. Viitaniemi, P., & Jämsä, S. (1999). *Modification of wood with heat*. VTT Publications.
145. WCED. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
146. Whyte, W. H. (1980). *The social life of small urban spaces*. Project for Public Spaces.
147. Wolff Nordic. (2025). *Københavnerbænk - The classic Copenhagen bench*. Retrieved May 15, 2026, from <https://wolffnordic.dk>
148. Wong, T. H. F., & Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: Principles for practice. *Water Science and Technology*, 60(3), 673–682.
149. World Health Organization. (2016). *Urban Green Spaces and Health: A Review of Evidence*. WHO.
150. World Steel Association. (2023). *Steel's contribution to a low carbon future*. Position Paper.
151. Yang, Z. (2005). Coordination and environmental protection in urban furniture design. *Art & Design*, 145(1), 82–84.
152. Yao, L., et al. (2020). Design of low-impact development facilities for stormwater management. *Journal of Environmental Management*, 273.
153. Yüksel, E. (2016). Ecological materials and sustainable furniture design. *Journal of Design and Ecology*, 4(2).
154. Zhang, X., et al. (2022). Urban circular construction waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 182.

Прилог А:

Детална просторна и бихевиорална анкета: Квалитет и одржливост на јавните простори во Тетово

Почитувани,

Оваа анкета се спроведува во рамките на изработката на докторска дисертација од областа на Архитектурата и Урбаниот дизајн. Целта е да се соберат податоци за користењето на урбаната опрема во Тетово (клупи, корпи за отпадоци, осветлување), со цел да се предложат решенија кои се поудобни, интелигентни (Smart) и еколошки одржливи.

Вашите одговори се целосно анонимни и ќе се користат исклучиво за научни цели.

Ви благодариме за издвоеното време (3-5 минути).

СЕКЦИЈА 1: ДЕМОГРАФСКИ ПОДАТОЦИ

1.Пол: Машки/Женски

2.Возраст: 14–18 / 19–24 / 25– 45 /46–65 / 65+

3.Статус:

Студент по архитектура или дизајн

Студент (други области)

Професионален архитект / дизајнер / урбанист

Вработен во други сектори

Пензионер

Друго (ве молиме наведете): _____

4.Дали имате потешкотии во движењето или користите помагала (инвалидска количка и сл.)?

Да / Не

СЕКЦИЈА 2: ОЦЕНКА НА ПОСТОЈНАТА СОСТОЈБА

1. Колку сте задоволни со достапноста на урбаната опрема во јавните простори во Тетово?

Многу задоволен / Задоволен / Неутрален / Незадоволен / Многу незадоволен

2. Состојба и одржување: Како би ја оцениле моменталната состојба и одржувањето на урбаната опрема (клупи, корпи за отпадоци, осветлување)?

Одлична / Добра / Просечна / Лоша / Многу лоша

3. Кои видови на урбана опрема најмногу недостасуваат во Тетово? (Изберете до 3 одговори)

Клупи за седење / Канти за отпадоци / Осветлување / Структури за сенка / Јавни чешми / Држачи за велосипеди / Детски игралишта / Станици за полнење (технолошка опрема)

4. Кои се најголемите недостатоци на постојните клупи во Тетово? (Изберете до 3 одговори)

Лоша ергономија (неудобни за подолг престој)

Оштетувања и лошо одржување (нечистотија, скршени делови)

Задржување вода и влага по дожд

Екстремно загревање на материјалите (металот) во лето

Застарен дизајн кој не го разубавува просторот

СЕКЦИЈА 3: КОРИСТЕЊЕ НА СПЕЦИФИЧНИ ПРОСТОРИ (Кејот на реката Пена и Градскиот плоштад)

1. Колку често ги посетувате шеталиштето (Кејот) и плоштадот во текот на неделата?

Никогаш
Ретко
1–2 пати неделно
Секојдневно

2. Доколку ретко или никогаш: Која е главната причина?

Недостаток на клупи за седење
Слабо (недоволно) осветлување
Отпад и загадување
Загриженост за безбедноста
Отежнат пристап (тешка пристапност)

3. Потребни подобрувања (Рангирајте од 1 до 4):

Удобни клупи / Подобро осветлување / Чистота и управување со отпад / Држачи за велосипеди /

4. Просечно времетраење на престојот по посета (плоштад, паркови, кеј):

0–15 мин / 15–45 мин / 45–60 мин / 1 час+

5. Социјален комфор (места за седење за групна интеракција): Колку ви е важно да најдете места за седење кои овозможуваат групен разговор (клучи поставени една наспроти друга или во кружна форма)?

Многу е важно 1 – 2 – 3 – 4 – 5 Воопшто не е важно

СЕКЦИЈА 4: ВИЗИЈА ЗА НОВИОТ ДИЗАЈН

1. Што му недостасува на Тетово во однос на урбаната опрема? (Рангирајте според приоритет):

Повеќе места за седење (клучи)
Корпи за отпадоци и селекција на отпад
Безбедни патеки за велосипеди
Повеќе зеленило интегрирано во самата опрема
Подобро осветлување
Интеграција на технологија (соларни полначи за мобилни, Wi-Fi, паметно осветлување)

2. Кои „паметни“ (Smart) функции би сакале да ги видите кај новите клупи? (Изберете до 2 одговори):

USB/Безжични полначи за мобилни телефони (соларна енергија)
Бесплатен Wi-Fi пристап
Интегрирано зеленило (вградени жардиниери со растенија)
Нокно сензорско осветлување (LED)

3. Кој концепт за новиот дизајн го претпочитате?

Традиционална клупа: Со цврста метална структура и дрвени табли (класичен изглед кој се вклопува на секаде).
Модерна и еколошка клупа: Изработена од рециклирани материјали со долг век на траење, минималистички дизајн и интегриран простор за зеленило.
Интелигентна (Smart) клупа: Со нов дизајн кој ја интегрира технологијата (полначи, нокно осветлување) како дел од самата структура.

СЕКЦИЈА 5: СЛОБОДЕН КОМЕНТАР

Вашиот предлог за подобрување на јавните простори во Тетово

СПИСОК НА ОБЈЕВЕНИ ТРУДОВИ

1. Umnije Aziri, Atanas Kochov, Zejnelabedin Aziri (2021) :Smart Sustainable city, International Scientific Journals od Scientific Technical Union of Mechanical Engineering “Industry 4.0”, Vol. 6 , Issue 5, pg(s) 201-203, Bulgaria, 2021.
2. Aziri Zejnelabedin, Hristovska Elizabeta, Aziri Umnije. (2022).: Shape optimization with composite sketching in a redesign process.. South East European Journal of Sustainable Development - ISSN 2545-12. 6. 12-17.
3. Umnije Aziri, Elena Nikoljski Panevski, Zejnelabedin Aziri (2024) : Methods of Material Selection for Sustainable Urban Furniture, International Journal For Multidisciplinary Research Volume 6, Issue 2, March-April 2024.
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i02.15934>
4. Elena Nikoljski Panevski, Umnije Aziri, Zejnelabedin Aziri (2024).: Biological – Psychophysical and Aesthetic Categories for Space Modeling International Journal For Multidisciplinary Research Volume 6, Issue 6, November – December 2024.
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i06.30699>
5. Umnije Aziri, Elena Nikoljski Panevski, Zejnelabedin Aziri (2025).: Designing an Urban Furniture Plan: Urban Analysis of Tetovo. 7th International Scientific & Product Design Proceedings, Volume 7, 263-271, 17th-20th September, 2025. Ohrid, North Macedonia.

БИОГРАФИЈА

Умније Азири е родена на 18 ноември 1993 година во Саранда, Албанија. Основното образование го завршила во Охрид, а средното образование во Струга. Дипломирала на Блискоисточниот технички универзитет (METU) во Анкара, Турција (2012–2016) — престижна институција вклучена во водичот на списанието „Domus“ за топ 100 училишта за архитектура и дизајн во Европа. Нејзиниот дипломски проект на METU бил фокусиран на аналитичко и регионално планирање за „Поврзаниот град“ (Connected City) Едрене, на повеќе урбани нивоа.

По дипломирањето, во 2017 година, започнала да работи како урбанист во „Го-план“, канцеларија за урбанистичко планирање, каде што придонесувала во изработката на генерални и детални урбанистички планови, како и на архитектонско-урбанистички проекти. Магистрирала на Архитектонскиот факултет при Универзитетот „АУЕ-ФОН“ во Скопје (2017–2020), каде што во рамките на својата магистерска теза проектирала ново минималистичко основно училиште.

Во академската 2020–2021 година ги започнала своите докторски студии на Факултетот за дизајн и технологии на мебел и ентериер во Скопје, на студиската програма Дизајн и технологии на мебел и ентериер. Во моментот ја подготвува својата докторска дисертација под наслов „Анализа на потребите од урбана опрема во Општина Тетово и изработка на проект за одржлив мебел“, под менторство на проф. д-р Елена Никољски Паневски.

BIOGRAPHY

Umnije Aziri was born on November 18, 1993, in Sarandë, Albania. She completed her primary education in Ohrid and her secondary education in Struga. She earned her bachelor's degree from the Middle East Technical University (METU) in Ankara, Turkey (2012–2016)—a prestigious institution featured in *Domus Magazine's* guide to Europe's top 100 architecture and design schools. Her graduation project at METU focused on analytical and regional planning for the "Connected City" of Edirne across multiple urban scales.

After completing her university studies, in 2017, she began working as an urban planner at "Go-plan", an urban planning firm, where she contributed to the development of general and detailed urban plans, as well as architectural-urban projects. She holds a master's degree from the Faculty of Architecture at "AUE-FON" University in Skopje (2017–2020), where she designed a new minimalist primary school project for her Master's thesis.

In the academic year 2020–2021, she commenced her doctoral studies at the Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior in Skopje, within the Design and Technologies of Furniture and Interior study program. She is currently developing her PhD dissertation, titled "Analysis of the Needs for Urban Equipment in the Municipality of Tetovo and Development of a Project for Sustainable Furniture", under the mentorship of Prof. Dr. Elena Nikoljski Panevski.



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО
СКОПЈЕ
ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА
МЕБЕЛ И ЕНТЕРИЕР - СКОПЈЕ**



М-р Умније Исмаилаки Азири

**АНАЛИЗА НА ПОТРЕБИТЕ ОД УРБАНА ОПРЕМА ВО ОПШТИНА
ТЕТОВО И ИЗРАБОТКА НА ПРОЕКТ ЗА ОДРЖЛИВ МЕБЕЛ**

Авторезиме на докторска дисертација

Скопје, 2026

1. ВОВЕД

Современите градови се соочуваат со комплексни предизвици кои произлегуваат од брзата урбанизација, климатските промени и растечките социјални нееднаквости. Во овој контекст, јавниот простор и урбаниот мебел стануваат клучни елементи во градењето на одржливи, инклузивни и човекоцентрични урбани средини. Урбаниот мебел не претставува само функционален сет на објекти за седење, осветлување или одмор, туку и посредник меѓу човекот, просторот и општеството, кој го обликува секојдневното искуство и колективната култура на живеење во градот.

Во научната и стручната литература, одржливиот урбан дизајн се разгледува како интердисциплинарна практика која ги интегрира архитектурата, дизајнот, екологијата, социологијата и економијата, со цел да се создадат простори што се отпорни, функционални и социјално праведни (Carmona, 2019; Gehl, 2010). Ваквиот пристап подразбира дека одржливоста не е само техничка или еколошка категорија, туку и етичка и културна вредност што се рефлектира во секој аспект на урбаното живеење.

Истражувањето во оваа дисертација се фокусира на градот Тетово – пример на балкански урбан центар со изразена просторна и социјална хетерогеност, во кој се испреплетуваат традиционални и современи урбани практики. Недоволната интеграција на принципите на одржливост во локалното урбано планирање резултира со недоволно искористени јавни простори и неусогласен урбан мебел кој не ги одразува потребите и вредностите на заедницата.

Затоа, целта на ова истражување е да развие иновативен, одржлив и партиципативен модел за дизајн на урбан мебел, кој ќе ја промовира социјалната инклузивност, еколошката ефикасност и долготрајната естетска вредност на јавните простори. Преку интердисциплинарен пристап што комбинира емпириско истражување, анализа на искуства и партиципативен дизајн, оваа дисертација има за цел да даде научен и применлив придонес во областа на одржливиот урбан дизајн во Северна Македонија и пошироко.

1.1 Истражувачка позадина

Во контекст на забрзаната урбанизација и растечките предизвици поврзани со животната средина, концептот на одржлив урбан дизајн станува суштински дел од современото планирање и обликување на градските простори. Јавните простори се сметаат за огледало на социјалната, културната и еколошката динамика на еден град, а урбаниот мебел претставува нивен неразделен и симболичен елемент.

Во последните децении, интересот за одржливи решенија во урбаниот мебел значително се зголеми, особено во контекст на европските градови каде што дизајнот се интегрира со принципите на економична употреба на ресурси, долготрајност и социјална инклузивност (Gehl, 2010; Carmona et al., 2012). Одржливиот урбан мебел се третира не само како физички производ, туку и како медијатор меѓу човекот и просторот, кој влијае на начинот на користење, доживување и социјална интеракција во јавните простори.

Градот Тетово, како динамичен урбан центар во Северна Македонија, се соочува со низа предизвици поврзани со планирањето и одржувањето на јавните простори, како и со недостаток на современи, функционални и еколошки решенија во урбаниот мебел. Урбаниот мебел често е резултат на ад-хок интервенции, без јасна стратегија, унифицирани критериуми или долгорочна визија. Многу од постојните елементи се нефункционални, слабо одржувани или несоодветни за локалниот контекст, што придонесува за деградација на јавниот простор. Истовремено, современите принципи на одржлив дизајн — како што се

циркуларната економија, модуларноста и употребата на еколошки материјали — ретко се систематски применети во локалната практика.

Оваа дисертација се позиционира на пресекот меѓу урбаниот дизајн, одржливоста и корисничкото искуство, со цел да истражи како преку подобро дизајниран урбан мебел може да се подобри функционалниот и еколошкиот квалитет на јавните простори во Тетово.

1.3 Дефинирање на проблемот

И покрај зголемената свест за важноста на одржливиот дизајн, постојните јавни простори во Тетово често се карактеризираат со недоволна функционалност, несоодветна естетика и слаба прилагодливост кон потребите на различните групи корисници. Урбаниот мебел во градот најчесто не е дизајниран во согласност со принципите на еколошка ефикасност, ергономија и инклузивност, ниту пак ги рефлектира специфичните социо-културни карактеристики на заедницата.

Дополнително, во процесот на планирање ретко се вклучуваат граѓаните како активни учесници, иако нивните ставови и секојдневни искуства претставуваат вреден извор на податоци за подобрување на дизајнот на јавните простори. Недостигот од ваков партиципативен пристап резултира со простори и урбани елементи што често не ги задоволуваат реалните потреби на корисниците и не придонесуваат за социјална кохезија и одржливост.

Проблемот не е само во физичката состојба на урбаниот мебел, туку и во отсуството на јасни критериуми за негово планирање, дизајн и одржување. Ова резултира со јавни простори кои не ги задоволуваат потребите на различни кориснички групи и не придонесуваат за одржлив урбан развој. Оттука, се јавува потреба од истражување што ќе ги идентификува овие недостатоци и ќе понуди интегриран дизајнерски одговор.

1.4 Цели на истражувањето

Целта на оваа дисертација е да се испита како примената на принципите на одржлив дизајн во урбаниот мебел може да придонесе кон подобрување на функционалниот, еколошкиот и социјалниот квалитет на јавните простори во градот Тетово. Од оваа главна цел произлегуваат следните специфични цели:

7. Да се идентификуваат клучните проблеми поврзани со одржливоста и дизајнот на урбаниот мебел во Тетово.

8. Да се анализираат постојните јавни простори и нивната опременост во однос на функционалност, одржливост и естетика.

9. Да се селектираат и тестираат материјали со ниска еколошка трага, погодни за локална примена.

10. Да се применат принципите на човечко искуство и психолошка перцепција во дизајнот на урбаниот мебел, со цел подобрување на комфорот и благосостојбата на корисниците.

11. Да се примени методот на дигитална партиципација преку дистрибуиран структуриран прашалник, со цел да се евалуираат субјективните кориснички перцепции за комфорот и да се интегрираат потребите на граѓаните во развојот на новите концепти.

12. Да се предложат и евалуираат три специфични дизајнерски сценарија за супституција на материјалите (Челик + ThermoWood, Алуминиум + ThermoWood, и Алуминиум + рециклиран материјал), со цел да се демонстрира практичната примена на кружната економија во урбаниот дизајн.

1.4 Методологија на истражување

За потребите на овој докторски труд е применет сеопфатен методолошки пристап кој овозможува темелна анализа на предметната материја. Истражувањето започнува со методот на преглед на литература, преку кој е воспоставена теоретската рамка и се идентификувани досегашните научни сознанија во оваа област. Со примена на методите на анализа и синтеза, собраните податоци се детално обработени и интегрирани во логички целини. Емпирискиот дел од трудот се потпира на методот на опсервација (набљудување) на терен и спроведување на анкетирање меѓу релевантни целни групи, со цел прибирање примарни податоци. Дополнително, преку методот на споредба се извршени компаративни анализи на различните модели и решенија. Посебен фокус е ставен на техничките пресметки, кои беа клучни за прецизно утврдување на техничките и еколошките параметри на објектите во фокусот на истражувањето. Ваквата комбинирана методологија гарантира висок степен на објективност и релевантност на добиените резултати.

1.5 Истражувачки прашања и хипотези

Истражувањето се води од следните прашања:

- Какви се ергономските и еколошките перформанси (изразен преку вградениот јаглороден отпечаток во фазата A1) на постојните моделски решенија за урбан мебел во Тетово?
- Дали супституцијата на конвенционалното меко дрво со супериорни алтернативи како ThermoWood или рециклиран материјал придонесува за намалување на токсичните емисии (VOC) од тековното одржување?
- Како граѓаните на Тетово ја перципираат врската помеѓу физичкиот комфор (ергономијата), паметните технологии на урбаниот мебел и нивната подготвеност за социјална интеракција во јавниот простор?
- Во која мера имплементацијата на кружниот концепт „Waste-to-Asset“ (рециклиран алуминиум и HDPE) може да го минимизира Потенцијалот за глобално затоплување (GWP) на урбаниот мебел во споредба со традиционалните материјали?

Врз основа на овие прашања, се формулираат следните хипотези:

Хипотеза 1: Постојниот урбан мебел во Тетово покажува ниски ергономски перформанси и висок јаглороден отпечаток во фазата A1, што може значајно да се оптимизира преку воведување на лесни метални конструкции со низок емисионен фактор.

Хипотеза 2: Супституцијата на традиционалното меко дрво со термички третирано дрво (ThermoWood) или рециклиран материјал во контактните површини, драстично ќе го намали еколошкиот товар во однос на заштитните премази (VOC) и ќе ја спречи деградацијата од влага.

Хипотеза 3: Постои директна корелација помеѓу хуманоцентричниот дизајн на клупите (ергономија, паметни функции, заштита од вода) и подготвеноста на граѓаните за подолг социјален престој во јавниот простор на Тетово.

Хипотеза 4: Имплементацијата на "Waste-to-Asset" концепт (рециклиран алуминиум и HDPE) во урбаниот дизајн овозможува драстично намалување на вкупниот Потенцијал за глобално затоплување (GWP) во рамките на „Cradle-to-Gate“ анализите, нудејќи реплицирачки модел за други транзициски градови.

1.6 Опсег и ограничувања на истражувањето

Истражувањето е фокусирано на јавните простори во градот Тетово, со посебен акцент на нивната опременост со урбан мебел. Истражувачкиот опсег опфаќа:

- Анализа на постојната состојба и квалитет на јавните простори;
- Испитување на перцепцијата и потребите на жителите;
- Дизајнирање и теоретска разработка на одржливи решенија за урбан мебел;
- Развој на препораки за интеграција на резултатите во идните планови и стратегии за урбано уредување.

Ограничувањата се однесуваат на:

- Географскиот опфат (град Тетово и непосредната околина);
- Временските рамки и можноста за практично тестирање на дизајните;
- Делумно субјективниот карактер на податоците добиени преку партиципативни методи (мислења и перцепции).

1.7 Структура на дисертацијата

Дисертацијата е структурирана во десет поглавја. Првото поглавје ја поставува истражувачката рамка и ги дефинира целите и прашањата. Второто и третото поглавје ги објаснува досегашните истражувања и методологијата на истражување. Четвртото поглавје дава теоретска основа и преглед на релевантната литература. Петтото поглавје ја анализира урбаната состојба и јавните простори во Тетово. Шестото и седмото поглавје се фокусираат на материјалите и развојот на дизајн-концептот. Осмото и деветтото поглавје ги презентираат финалните дизајн-предлози и нивната споредба. Десеттото поглавје ги дискутира резултатите, додека последното поглавје ги сумира заклучоците и дава препораки.

2.МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

2.1 Пристап на истражувањето

Истражувањето применува комбиниран методолошки пристап (mixed-methods design), кој систематски ги интегрира квалитативните кориснички перцепции со квантитативните еколошки и конструктивни пресметки. Дизајнот на урбаниот мебел претставува интердисциплинарно поле каде што социјалната кохезија, ергономијата и индустриската екологија се испреплетуваат (Carmona, 2019; Gehl, 2010). Поради тоа, користењето на единечен метод не би било доволно за да се опфати комплексноста на проблемот во градот Тетово.

Истражувачката архитектура се заснова на принципот на методолошка триангулација и е поделена во три последователни фази:

1. Емпириско-дијагностичка фаза: Теренска инвентаризација на постојните типологии на урбана опрема во Тетово и евалуација на корисничките ставови преку дигитална социјална партиципација.

2. Инженерско-аналитичка фаза (LCA моделирање): Квантитативно одредување на еколошкиот отпечаток на репрезентативните модели и мапирање на емисионите „жаришта“ (hotspots).

3. Синтетичко-дизајнерска фаза: Развој на три нови еколошки оптимизирани и паметни дизајн-сценарија и нивна споредбена евалуација (Comparative LCA) со постојната состојба.

2.2.1 Методи за прибирање податоци

2.2.1 Дигитална партиципација (Анкетен прашалник)

Со цел да се надминат просторните и логистичките ограничувања, а притоа да се обезбеди вклученост на хетероген примерок од населението, истражувањето применува метод на дигитална социјална партиципација. Примарниот инструмент за прибирање податоци е структуриран онлајн анкетен прашалник, дистрибуиран до граѓаните на Тетово (Dillman et al., 2014).

Прашалникот е конфигуриран во пет сегменти и има за цел да ги евалуира:

- Фреквенцијата и карактерот на користење на јавните простори.
- Субјективните ергономски и термички перформанси на постојниот урбан мебел.
- Приоритетите на граѓаните во однос на воведувањето на паметни технологии (smart design) и интегрираното зеленило.
- Подготвеноста на заедницата за прифаќање на алтернативни, рециклирани материјали (HDPE).

2.2.2 Теренска детекција и просторна инвентаризација

Теренските набљудувања се спроведени на клучни урбани локации во Тетово (Градскиот плоштад, Кејот на реката Пена, Градскиот парк и транзитните зони). Процесот опфаќа физичко и визуелно мапирање на постојната урбана опрема (седишта, корпи за отпадоци и осветлување).

Секој идентификуван модел е подложен на систематско оценување преку мултикритериумска матрица за бодување (Scoring Matrix) со вредности од 1 (најниско) до 5 (највисоко) во рамките на пет клучни домени:

- Ергономија и комфор (наклон, димензии, наслони).
- Издржливост на материјалите (деградација, корозија, вандализам).
- Потребата од одржување (премази, чистење).
- Универзален дизајн (пристапност за ранливи групи).
- Контекстуална и естетска интеграција во просторот (Polič et al., 2002).

2.3 Методолошка рамка за проценка на животниот циклус (LCA)

За научно квантифицирање на еколошката одржливост на урбаниот мебел, во ова истражување се користи методот Проценка на животниот циклус (Life Cycle Assessment - LCA), во согласност со меѓународните стандарди ISO 14040 (2006) и ISO 14044 (2006).

LCA претставува холистичка, научно заснована алатка која овозможува евалуација на сите влезови (материјали, енергија) и излези (емисии во воздух, вода, почва) во текот на животниот век на еден производ (Klöpffer & Grahl, 2014).

Согласно стандардот ISO 14040 (2006), процесот на LCA се спроведува низ четири меѓусебно поврзани фази:

1. Дефинирање на целта и опсегот

- Цел: Споредбена анализа на Потенцијалот за глобално затоплување (GWP, изразен во kg CO₂e) помеѓу постојните критични модели на клупи во Тетово (S3, S6, S8, S9, S15) и трите нови предложени дизајн-сценарија.
- Функционална единица: Единечен елемент на урбан мебел (клуба) со стандардизирана должина од 180 cm и проектиран животен век од 20 години.
- Граници на системот: Истражувањето применува пристап „од колепка до порта“ (Cradle-to-Gate) кој ги опфаќа модулите A1–A3 согласно европскиот стандард EN 15804:
 - A1 (Набавка на сировини): Екстракција на руди, сеча на дрво, синтеза на полимери.
 - A2 (Транспорт): Логистички текови до производниот погон.
 - A3 (Производство): Потрошувачка на електрична енергија и гасови за заварување, сечење, виткање и завршни заштитни премази со испарливи органски соединенија (VOC).

2. Анализа на инвентарот (Life Cycle Inventory - LCI)

Оваа фаза опфаќа детален попис на сите инволвирани материјали пресметани врз основа на техничките спецификации и цртежи на моделите. Податоците за материјалните маси и енергетските процеси се внесуваат во софтверот openLCA, користејќи ги релевантните бази на податоци (ICE Database v3.0, Agribalyse) за емисионите фактори на специфичните локални и регионални материјални текови.

3. Проценка на влијанието врз животната средина (Life Cycle Impact Assessment - LCIA)

Евалуацијата е фокусирана на пресметка на карактеристичниот индикатор за климатски промени — GWP (Global Warming Potential) за временски хоризонт од 100 години.

$$GWP_{total} = \sum (M_i \times EF_i) + E_{process}$$

Каде

што:

- M_i е вкупната маса на вградениот материјал i во структурата на клубата (kg).
- EF_i е карактеристичниот емисионен фактор на материјалот i (kg CO₂e / kg).
- $E_{process}$ се еквивалентните емисии генерирани од потрошувачката на енергија при обработката и заштитата во фазата A3 (kg CO₂e).

4. Интерпретација на резултатите

Идентификација на еколошките „жаришта“ (hotspots) во структурата на постојниот мебел (најчесто кај примарниот челик и тешките завршни лакови) и дефинирање на јасни насоки за нивна супституција кај новите проекти.

2.4 Методологија на дизајнерски развој и синтеза

Процесот на креирање на новите модели на урбан мебел не се третира како изолиран естетски чин, туку како дизајн информиран од податоци (data-informed design). Добиените квантитативни показатели од LCA евалуацијата на постојната состојба и барањата на

граѓаните од онлајн анкетата се директни влезни параметри за дефинирање на новите геометриски и конструктивни решенија.

Развојниот процес се одвива низ три фази:

1. Идејно моделирање (Рачни скици): Креирање на форми кои спречуваат стагнација на вода, ја подобруваат ергономијата и го олеснуваат чистењето.

2. Техничко цртање (Adobe Illustrator): Дигитална разработка на векторски цртежи со прецизни дебелини на металните профили и пресметка на пресеци.

3. Материјализација на три нови концептуални сценарија:

- Сценарио А: Конструкција од конструктивен челик во комбинација со термички третирано дрво (ThermoWood).
- Сценарио Б: Конструкција од рециклиран алуминиум со ThermoWood летви.
- Сценарио В (Кружен модел): Конструкција од рециклиран алуминиум со седишта од рециклиран полимер со висока густина (HDPE).

2.5 Методологија на споредбена евалуација

За научно да се верификува и потврди супериорноста на новите дизајнерски решенија, се применува двостепена споредбена евалуација:

1. Споредбена LCA пресметка

Трите нови сценарија се подложуваат на детални материјални пресметки. Нивните инвентари се моделираат во софтверот openLCA под апсолутно идентични системски граници (A1–A3) и емисионими фактори како постојните модели. Ова овозможува егзактна графичка и математичка споредба на заштедите на CO₂ емисиите.

2. Споредбено бодување преку Scoring матрицата

Новите модели повторно се оценуваат со истата матрица од 1 до 5 користена при теренското истражување. Овој чекор научно докажува дека супституцијата на материјалите и редизајнот не само што го намалуваат јаглеродниот отпечаток, туку истовремено ги подобруваат ергономијата, социјалната кохезија и паметната функционалност.

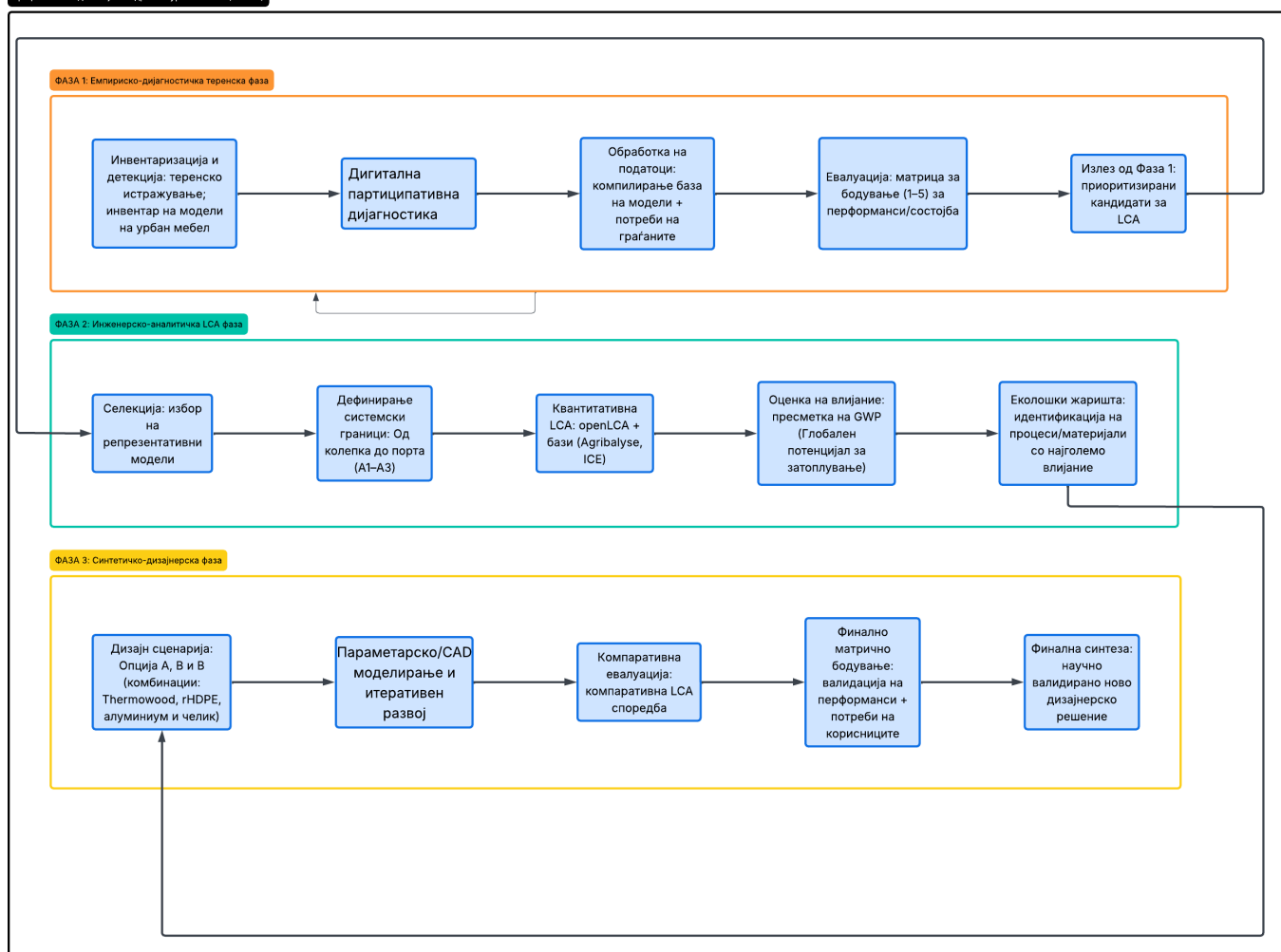
2.6 Образложување на методолошките избори

Изборот на оваа комбинирана методологија е во целосна корелација со целите на дисертацијата. Користењето на дигиталната анкета овозможува брза и демократска партиципација на заедницата во услови на логистички ограничувања (Dillman et al., 2014). Истовремено, строгата примена на софтверски алатки за животен циклус (LCA) го издигнува трудот над нивото на субјективно дизајнерско планирање, нудејќи емпириски и математички докажани еколошки решенија за градот Тетово (ISO 14040, 2006).

2.7. Етички аспекти на истражувањето

Истражувањето е спроведено со целосно почитување на етичките кодекси во научната дејност:

- Обезбедена е целосна анонимност на сите учесници во дигиталната анкета согласно стандардните истражувачки практики (Flick, 2018).
- Примени се принципи на информирана согласност за користење на податоците во научни цели.



- Еколошките податоци се засновани на транспарентни бази, без манипулација на параметрите при LCA моделирањето во софтверот

Слика 2.1. Блок-дијаграм на истражувачкиот процес, кој ја прикажува транзицијата од теренска инвентаризација и дигитална партиципација, преку квантитативна проценка на животниот циклус (lca), до финална дизајнерска синтеза и евалуација

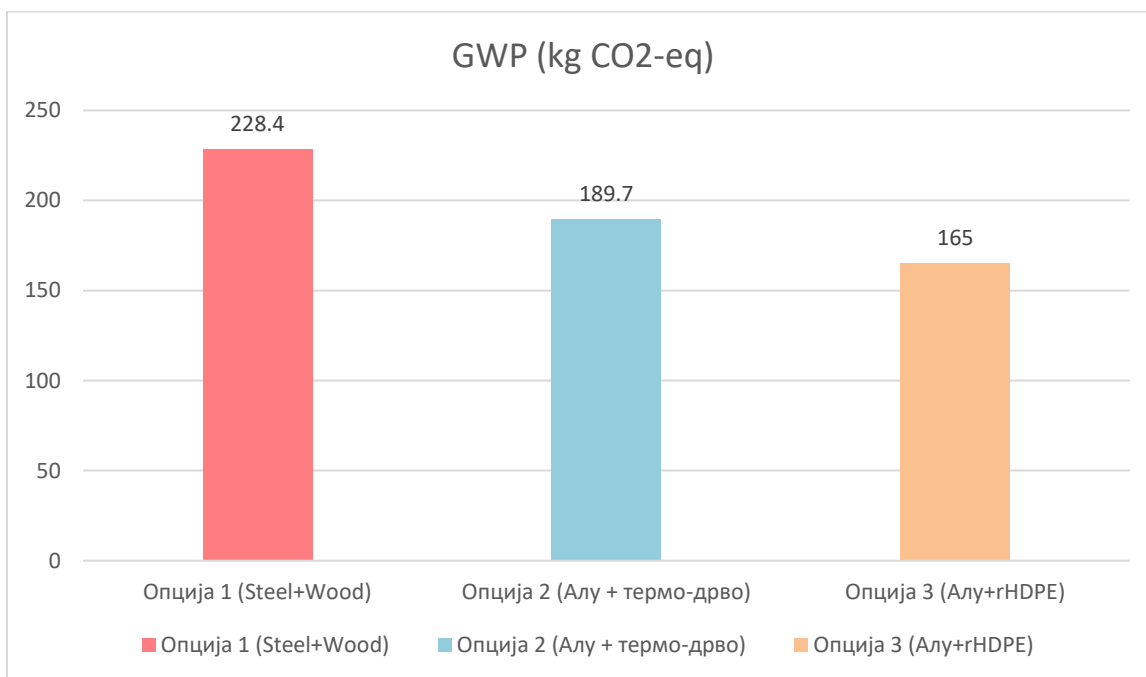
3.ЕВАЛУАЦИЈА И ДИСКУСИЈА

3.1 Клучни наоди од истражувањето и дизајнот

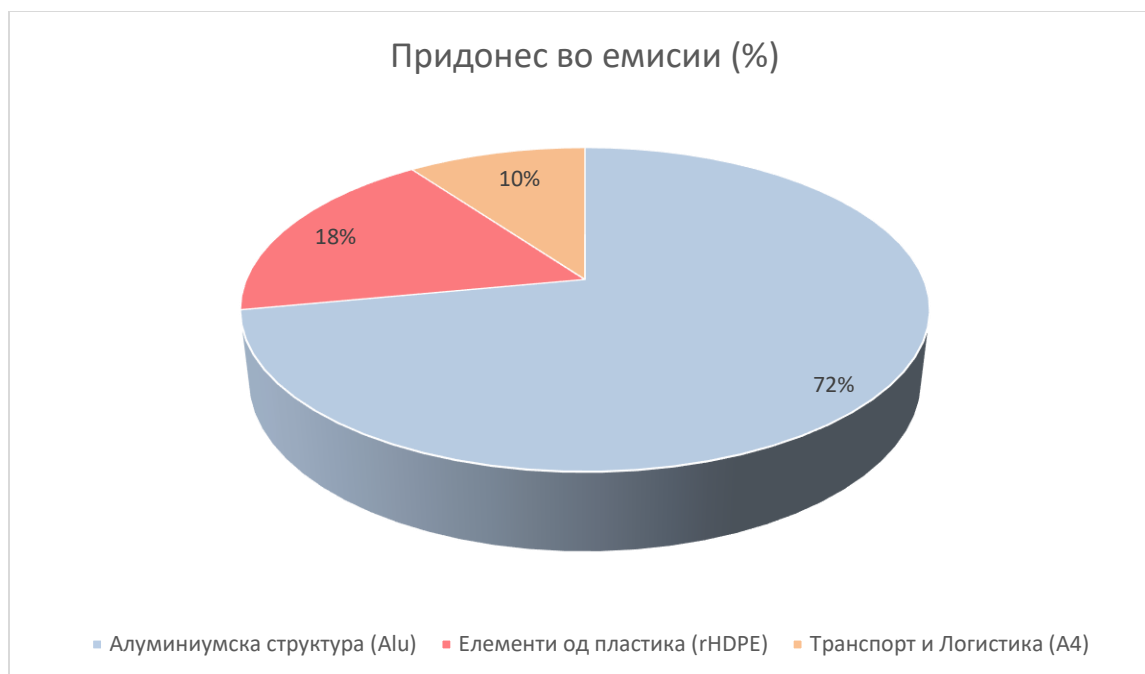
Истражувањето спроведено во рамките на оваа дисертација резултираше со развој на иновативен модел на урбана опрема, насловен како „The Tetovo Rib“. Евалуацијата на различните дизајн-варијанти ги потврди следните клучни наоди:

Интеграција на еколошкиот циклус во дизајнот: Анализата на животниот циклус (LCA) покажа дека преминот од традиционален конструктивен челик кон алуминиумска легура во комбинација со рециклиран полиетилен (rHDPE) го намалува вкупното влијание врз животната средина за 28% во текот на експлоатациониот период од 30 години.

Визуелизацијата на LCA податоците на Графикон 3.1 јасно го потврдува еколошкиот бенефит од замена на примарните материјали со рециклирани полимери. Намалувањето на GWP вредноста кај Опцијата 3 за повеќе од 25% во однос на Опцијата 1 е клучен индикатор за успешна декарбонизација на дизајнот. Дополнително, аналитичкиот приказ на Графикон 3.2 укажува дека најголемиот потенцијал за дополнително подобрување на еколошките перформанси лежи во оптимизација на алуминиумската конструкција, додека rHDPE елементите веќе нудат супериорни резултати поради ниската енергија на вградување.



Графикон 3.1 Компаративна анализа на потенцијалот за глобално затоплување (gwp) помеѓу трите дизајн-варијанти



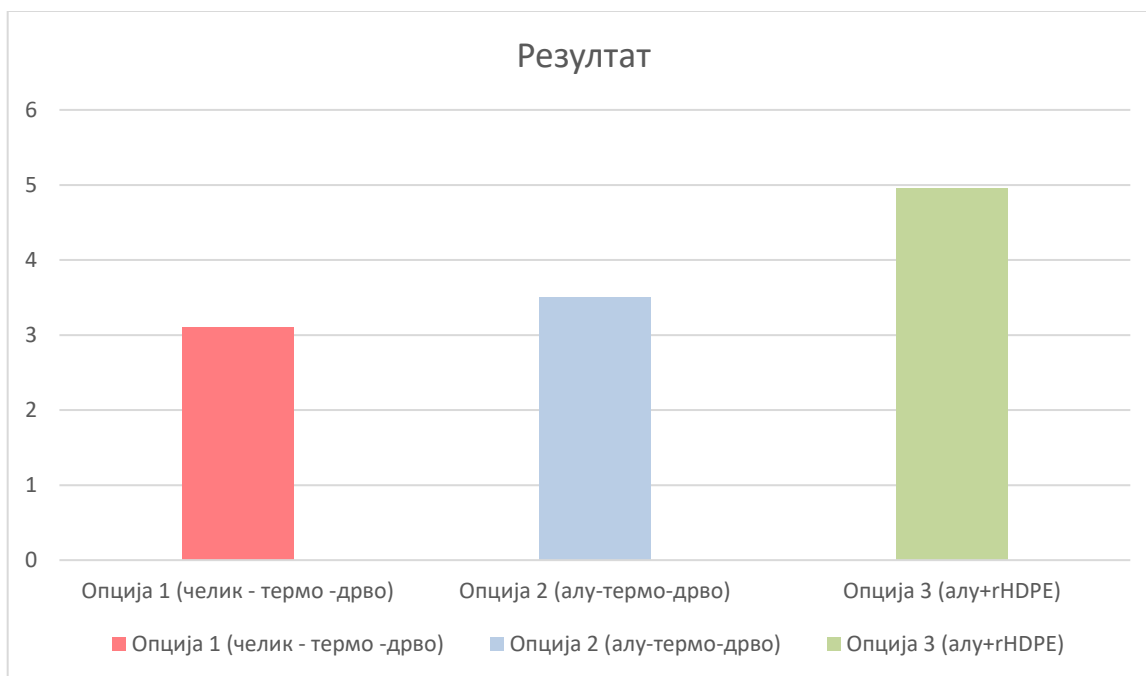
Графикон 3.2 Процентуален придонес на материјалите и процесите во вкупниот еколошки отпечаток на опцијата 3.

Техничка оптимизација: Преку инженерските пресметки за Опција 3, утврдено е дека намалувањето на сопствената тежина на конструкцијата (40.49 kg за алуминиумската верзија) значително ги олеснува логистичките процеси (фаза A4) и овозможува лесна монтажа без тешка механизација во тесните урбани јадра на Тетово.

Валидација на MCDA моделот: Мултикритериумската анализа (MCDA) обезбеди математички доказ дека факторот „одржување“ е критичен за долгорочната одржливост на урбаните елементи во Полошкиот регион. Опцијата 3 постигна највисок резултат (4.95) главно поради отпорноста на rHDPE на атмосферски влијанија и вандализам.

Врз основа на столбестиот дијаграм прикажан на Графикон 3.3, видлива е јасна диференцијација помеѓу трите анализирани варијанти. Додека Опцијата 1 и Опцијата 2 покажуваат релативно блиски резултати (3.10 наспроти 3.50), Опцијата 3 (Алуминиум + rHDPE) доминира со висок резултат од 4.95.

Оваа разлика не е само нумеричка, туку рефлектира суштинска промена во дизајнерската филозофија. Високиот скор на Опцијата 3 е директен резултат на синергијата помеѓу леснотијата на алуминиумот и екстремната отпорност на рециклираната пластика, што ја прави оваа варијанта најадекватна за долгорочна имплементација во урбаното јадро на Тетово.

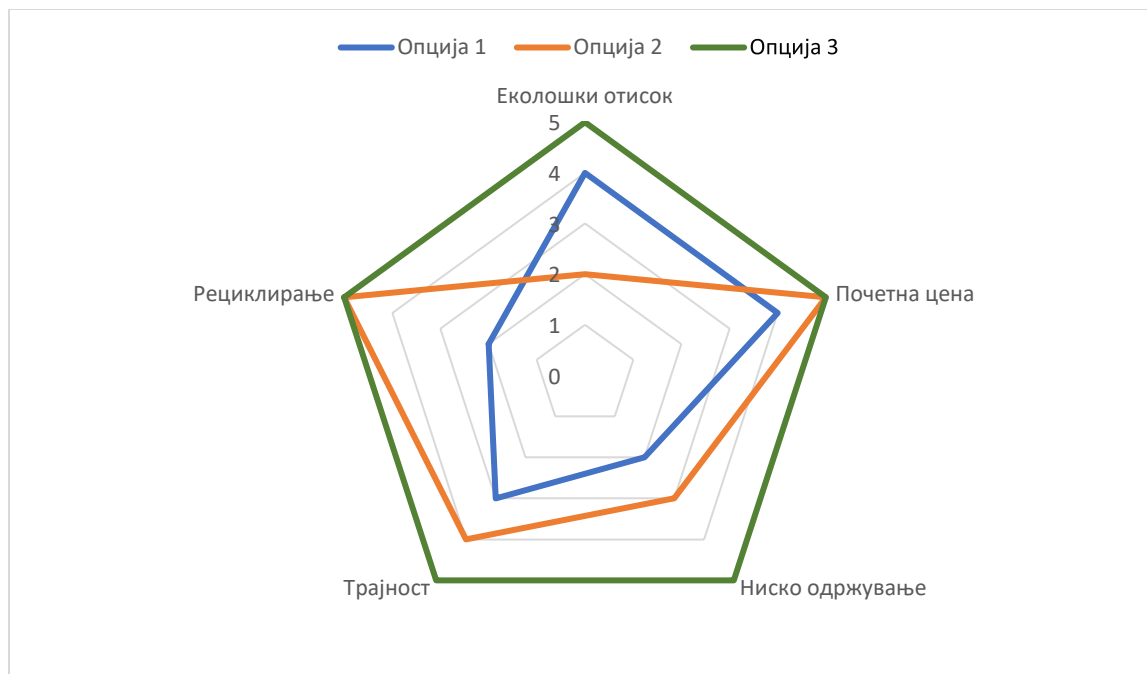


Графикон 3.2 Компаративен приказ на вкупните резултати од mcda евалуацијата

Радарскиот дијаграм на Графикон 3.4 нуди подлабок увид во „trade-off“ ефектите (компромисите) помеѓу различните критериуми. Преку визуелизација на површините, може да се извлечат следните заклучоци:

- **Опција 1 (Челик + Дрво):** Покажува изразена „вдлабнатина“ во секторот на одржување и рециклирање. Ова укажува на фактот дека иако дрвото е еколошки прифатлив материјал на почетокот, неговата потреба за честа реставрација го прави помалку одржлив во контекст на ограничените буџети за одржување во Полошкиот регион.
- **Опција 2 (Алуминиум + Дрво):** Има подобрени перформанси кај конструкцијата, но сепак страда од истите ограничувања на дрвото како површински материјал.
- **Опција 3 (Алуминиум + rHDPE):** Формира најголема и најбалансирана површина на графиконот. Речиси идеалниот многуаголник потврдува дека оваа варијанта ги минимизира слабостите на претходните опции, постигнувајќи максимални оценки кај ниското одржување и кружната економија.

Заклучокот од радар-анализата (графикон 3.4) е дека Опцијата 3 претставува „Pareto-optimal“ решение – каде што подобрувањето на еколошките перформанси не оди на штета на економската издржливост или техничкиот квалитет.

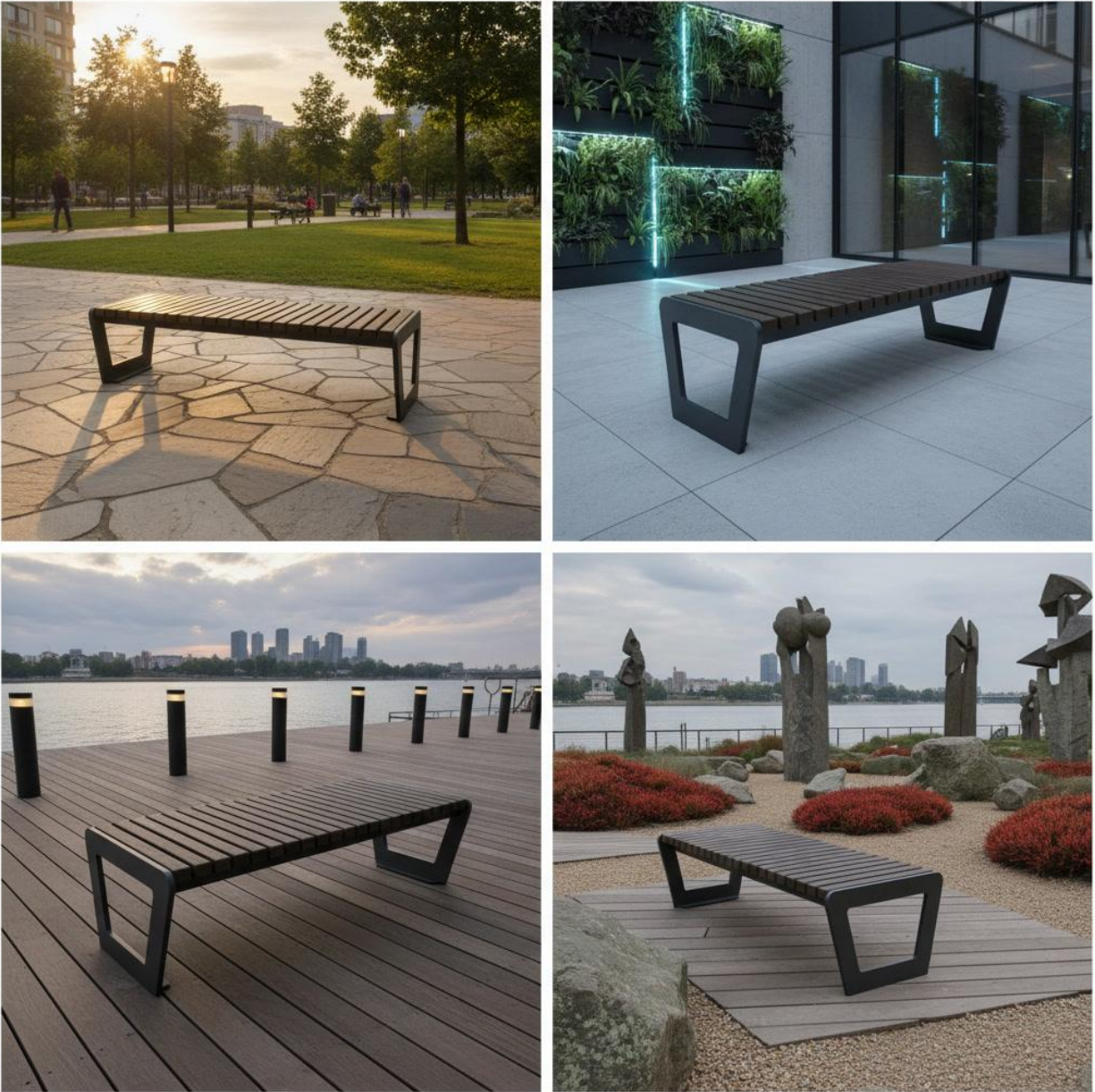


Графикон 0.3 Радарски дијаграм на перформансите на трите дизајн-варијанти

3.2 Функционална анализа и сценарија за примена на предложениот модел

По дефинирањето на основната форма и техничките спецификации во претходните поглавја, овој дел ја истражува функционалната разновидност на урбаната опрема преку различни сценарија на употреба. Преку визуелни прикази (рендери), ќе се демонстрира како основниот модел се прилагодува на потребите на корисниците и барањата на урбаната средина, трансформирајќи се од едноставен елемент за седење во комплексно решение кое ја адресира ергономијата, материјалната издржливост и социјалната интеракција. Овие илустрации служат како доказ за флексибилноста на дизајнот во одговорот на различните динамики на јавните простори.

Слика 3.1: Колаж од прикази кои ја демонстрираат високата просторна адаптабилност на дизајнираниот модел во различни урбани контексти. Преку четирите различни сценарија (парковско опкружување, модерен деловен екстериер со вертикално зеленило, крајбрежна пешачка зона и јавен простор со скулптурална уметност), се потврдува дека дизајнот поседува универзален естетски јазик.



Слика 3.1 Приказ на контекстуална адаптација на основниот модел во различни средини: јавни паркови, деловни комплекси, крајбрежни шеталишта и уметнички паркови. дизајнот покажува висока неутралност и естетска интеграција во различни архитектонски сценарија.

Способноста на моделот да се вклопи во традиционални природни пејзажи, како и во строго дефинирани модернистички средини, докажува дека избраните материјали и геометриски форми се контекстуално флексибилни. Оваа карактеристика е од клучно значење за масовно производство и урбано планирање, бидејќи овозможува визуелен континуитет низ различни делови на градот, без оглед на нивната специфична намена или архитектонски стил.



Слика 3.2 Анализа на модуларноста и ноќната функционалност. лево: дневен приказ на различни конфигурации (линеарни, закривени, кружни). десно: ноќен приказ со интегрирано амбиентално и безбедносно led осветлување.

Слика 3.2 (лево): Приказ на модуларниот систем на урбана опрема во дневна средина. Оваа слика ја демонстрира разновидноста на основниот модел за креирање различни линеарни, закривени и кружни конфигурации, прилагодувајќи се на постојните елементи како дрвото или облиците на плоштадот. Модуларноста овозможува создавање "зони за седење" со различен карактер (приватен или јавен) во рамките на истиот простор, поттикнувајќи социјална интеракција или нудејќи мир.

Слика 3.2 (десно): Ноќно сценарио на истата конфигурација, нагласувајќи го интегрирањето на функционалното и декоративното осветлување. Индиректното LED осветлување, интегрирано под структурата и помеѓу летвите, не само што ја зголемува безбедноста во просторот преку осветлување на зоната за движење, туку создава и топла и привлечна атмосфера. Оваа изведба на светлината ја трансформира перцепцијата на урбаниот простор по зајдисонце, правејќи го поатрактивен и функционален и во доцните часови.



Слика 3.3 Анализа на „паметни“ и одржливи функции. лево: интеграција на фотонапонски панели за самоодржливост и напојување на интегрирани сензори. десно: детален приказ на „урбаната станица за полнење“ со usb приклучоци и безжични полначи. клупата интегрира интелигентни сензори

Слика 3.3 (лево): Приказ на иновативната интеграција на фотонапонски панели директно во површината на паметната клупа. Ова решение демонстрира како основниот дизајн еволуира во независен енергетски јазол, кој користи сончева енергија за напојување на интегрираните дигитални функции, истовремено одржувајќи ја основната ергономија. Клупата станува активен елемент на „паметниот град“, нудејќи функционалност и одржливост.

Слика 3.3 (десно): Детален приказ на корисничкиот интерфејс на „паметната“ конфигурација. Тука јасно се гледа интеграцијата на USB приклучоци и безжични полначи во структурата на клупата, како и фотонапонските панели на седиштето. Оваа конфигурација ја трансформира клупата од обично место за седење во „урбана станица за полнење“, адресирајќи ги потребите на модерните поврзани граѓани. Клупата исто така интегрира интелигентни сензори, како сензори за температура, влажност, квалитет на воздухот и присуство, кои испраќаат податоци во реално време, преку LoRaWAN, до централниот контролен панел. Податоците се прикажуваат на апликација за корисниците, нудејќи информации за микроклимата, достапноста и квалитетот на воздухот во реално време. Имплементирани се исто така алгоритам за препознавање активности со помош на вештачка интелигенција и дигитален близнак за анализа на перформансите и предвидување на потребите за одржување. Целиот систем, напојуван со батерија која се полни со интегрираните соларни панели, е поврзан преку LoRaWAN портал со апликативен сервер за долгорочно складирање на податоци.



Слика3.4 Интегрален модел на мултифункционална паметна урбана станица. системот ги обединува модуларните клупи со паметна технологија, фотонапонска покривна конструкција, паркинг за велосипеди и станица за селекција на отпад, создавајќи автономен и одржлив урбан микро-амбиент

Слика 3.4: Сеопфатен приказ на мултифункционалната паметна урбана станица, која служи како интегративен модел за современите јавни простори. Овој рендер ја демонстрира крајната еволуција на дизајнот, каде што примарната функција на седење е проширена со низа дополнителни услуги: покривна конструкција со фотонапонски панели со голем капацитет, интегрирано паркиралиште за велосипеди, систем за селективно управување со отпад и жардиниери за урбано зеленило.

Целиот систем функционира како автономен енергетски и информативен јазол. Покривната конструкција не само што обезбедува заштита од атмосферски влијанија и сенка, туку генерира електрична енергија за осветлувањето, паметните полначи и сензорската мрежа (IoT). Овој модел претставува холистички одговор на потребите на градовите за одржливост, поттикнувајќи ја микро-мобилноста (велосипедизмот), еколошката свест (рециклирањето) и дигиталната поврзаност, притоа збогатувајќи го естетскиот и биофилниот карактер на урбаната средина преку интегрираната вегетација.



Слика 3.5 Приказ на инклузивен урбан простор со акцент на пристапност за лица со попреченост. дизајнот интегрира ергономски решенија, паметна урбана опрема и биофилни елементи (жардиниери), создавајќи социјално одржлива и функционална средина достапна за сите граѓани.

Слика 3.5 : Интегрален приказ на урбан простор кој ја нагласува инклузивноста и пристапноста како клучни столбови на предложениот дизајн. Овој рендер демонстрира како модуларните елементи се прилагодени за лица со попреченост, со посебен фокус на ергономските решенија кои овозможуваат непречено користење на просторот за сите категории граѓани. Интеграцијата на наменски места за инвалидски колички во рамките на самите композиции за седење, заедно со соодветната хоризонтална сигнализација, го трансформира јавниот простор во социјално кохезивна средина.

Покрај инклузивноста, сликата ја илустрира и биофилната интеграција — комбинирање на паметните клупи со богати жардиниери со вегетација. Овој пристап не само што ја подобрува микроклимата и естетската вредност на просторот, туку придонесува и за психолошката благосостојба на корисниците. Целокупниот распоред поттикнува меѓугенерациска интеракција и создава безбедни, пристапни „урбани оази“ кои се во директна корелација со принципите на паметните и хумани градови.

3.3 Предизвици во текот на истражувањето

Процесот на истражување и димензионирање на „The Tetovo Rib“ се соочи со неколку значајни предизвици:

Локална база на податоци за материјали: Поради недостиг на специфични македонски EPD (Environmental Product Declarations), користени се референтни податоци од ELCD базите, што бараше дополнителна калибрација за да се рефлектира локалниот енергетски микс на Р. Северна Македонија.

Термичка стабилност на полимерите: Дизајнирањето на дилатационите споеви кај rHDPE ламелите претставуваше сложен инженерски предизвик, со цел да се спречат деформации при екстремните температури во Тетово (летни температури над +40°C).

Синхронизација на индустриските процеси: Идентификацијата на локални капацитети за рециклирање во Полошкиот регион кои можат да произведат стандардизиран полупроизвод (ламели) покажа дека е потребна поголема соработка помеѓу истражувачкиот сектор и локалната индустрија.

3.4 Ограничувања на студијата

За објективно вреднување на трудот, мора да се земат предвид следните ограничувања:

Временски хоризонт на експлоатација: Иако теоретскиот животен век на rHDPE е над 30 години, неговите механички својства во специфичните загадени воздушни услови на Тетово (висока концентрација на РМ честички) може да бараат понатамошно долгорочно следење.

Економски флукуации: BoQ (Quantity Take-off) пресметките се фиксни за периодот на истражувањето (2026 година). Глобалните промени во цената на алуминиумот и енергенсите може да ја променат релативната економска предност на Опција 3 во однос на Опција 1.

Опсег на рециклирање: Студијата претпоставува 100% ефикасност на локалниот систем за селекција на отпад, што во реалноста зависи од општинските капацитети и јавната свест на граѓаните.

4.ЗАКЛУЧОК

4.1 Преглед на придонесите на истражувањето

Оваа дисертација претставува сеопфатен одговор на растечката потреба за интеграција на одржливоста во урбаниот дизајн, фокусирајќи се на специфичниот контекст на Општина Тетово. Преку развојот на проектот „The Tetovo Rib“, истражувањето ги надминува традиционалните граници на естетското обликување и навлегува во доменот на системското инженерство и еколошката валоризација.

Научниот придонес на овој труд се рефлектира во воспоставувањето на нов методолошки рамковен модел кој ги обединува пресметките на Анализата на животниот циклус (LCA) со Мултикритериумското одлучување (MCDA). Овој пристап овозможува транспарентно и математички поткрепено оправдување за изборот на материјали, што досега беше реткост во локалната практика на јавното градење.

Практичниот придонес се огледа во успешната идентификација на rHDPE (рециклиран полиетилен) како супериорна алтернатива на дрвото за надворешна употреба во Полошкиот регион. Истражувањето докажа дека со користење на овој материјал, не само

што се решава проблемот со управувањето со отпадот, туку се постигнува и драстично намалување на трошоците за одржување во текот на експлоатациониот век од 30 години. Овој труд служи како прототип за тоа како теоретските поставки на кружната економија можат да се трансформираат во конкретен индустриски дизајн.

4.2.Стратешки препораки за Општина Тетово и Полошкиот Регион

Врз основа на екстензивните анализи во текот на истражувањето, се дефинираат следните препораки за донесувачите на одлуки:

4. **Институционализација на кружноста:** Се препорачува Општина Тетово да го усвои моделот „The Tetovo Rib“ како официјален урбан стандард за централното градско подрачје. Ова подразбира не само набавка на опрема, туку и создавање на затворен систем каде отпадот селектиран од граѓаните на Тетово се враќа во јавните простори како рециклирана опрема.

5. **Ревизија на критериумите за јавни набавки:** Општината треба да се оддалечи од критериумот „најниска цена на чинење“ при тендерските постапки. Наместо тоа, треба да се инсистира на критериумот „цена на животен циклус“ (Life Cycle Costing), каде издржливоста на алуминиумот и rHDPE би биле препознаени како долгорочно поекономични решенија.

6. **Формирање на локален еко-индустриски кластер:** Се предлага соработка помеѓу општината и приватниот сектор во Полошкиот регион за производство на rHDPE профили. Тетово има капацитет да стане регионален центар за производство на „зелена“ урбана опрема, користејќи ги капацитетите на локалните рециклатори и CNC индустријата.

4.4.Насоки за идни истражувања и дизајнерски развој

Докторатот ги отвора вратите за неколку нови истражувачки правци кои можат дополнително да го унапредат урбаниот живот:

- **Интеграција на Smart-технологии:** Идниот развој на „The Tetovo Rib“ треба да ја разгледа можноста за вградување на **IoT сензори** во rHDPE ламелите. Овие сензори би можеле да мерат параметри како загаденоста на воздухот (PM честички) или фреквенцијата на луѓе, претворајќи ги клупите во активни станици за собирање на еколошки податоци.

- **Дизајн за лесно расклопување (DfD):** Истражувањето може да се прошири на развој на нови споеви помеѓу алуминиумот и пластиката кои би овозможиле уште полесна поправка или целосно рециклирање на секој поединечен шраф и профил во иднина.

- **Психолошки влијанија на материјалите:** Се предвидува потреба од социолошки студии кои би го истражувале влијанието на модерниот, технолошки напреден дизајн врз намалувањето на вандализмот и зголемувањето на чувството за колективна одговорност кај младата популација во Тетово.

4.5.Социо-економски и естетски влијанија: „The Tetovo Rib“ како симбол на промена

Овој дизајн не е само функционален објект; тој е обид за репозиционирање на визуелниот идентитет на Тетово. Трансформацијата на еден од најголемите проблеми на градот – пластичниот отпад – во негов најпрепознатлив естетски елемент, носи силна симболичка порака.

Економскиот аспект покажува дека инвестирањето во супериорни материјали (алуминиум и rHDPE) ја ослободува општинската каса од постојаните трошоци за репарирање на дотраеното дрво и рѓосаниот челик. Овие заштедени средства можат да се пренасочат во други зелени иницијативи, создавајќи позитивен спирален ефект на одржливост.

4.6.Завршни согледувања

Денес, урбаниот дизајн веќе не може да се дефинира само преку неговата форма. Во време на климатска криза и деградација на животната средина, одговорноста на дизајнерот и инженерот е да креира системи кои го почитуваат животниот циклус на материјата.

Ова истражување потврдува дека Тетово има потенцијал да стане предводник во регионот за примена на напредни еколошки решенија. „The Tetovo Rib“ претставува мост помеѓу традицијата на градското живеење и иднината на кружната економија. Заклучокот е јасен: **одржливоста не е цел која треба да се постигне, туку процес кој постојано се дизајнира.**



SS. CYRIL AND METHODIUS UNIVERSITY OF SKOPJE
FACULTY OF DESIGN AND TECHNOLOGIES OF
FURNITURE AND INTERIOR - SKOPJE



Umnije Ismailaki Aziri, MSc

**ANALYSIS OF THE NEEDS FOR URBAN EQUIPMENT IN THE
MUNICIPALITY OF TETOVO AND DEVELOPMENT OF A PROJECT
FOR SUSTAINABLE FURNITURE**

Autoresume of Doctoral Dissertation

Skopje, 2026

1. INTRODUCTION

Contemporary cities face complex challenges arising from rapid urbanization, climate change, and growing social inequalities. In this context, public space and urban furniture become crucial elements in building sustainable, inclusive, and human-centric urban environments. Urban furniture is not merely a functional set of objects for seating, lighting, or resting, but a mediator between humans, space, and society that shapes the daily experience and collective culture of city living.

In scientific and professional literature, sustainable urban design is viewed as an interdisciplinary practice that integrates architecture, design, ecology, sociology, and economics to create resilient, functional, and socially just spaces (Carmona, 2019; Gehl, 2010). This approach implies that sustainability is not just a technical or environmental category, but an ethical and cultural value reflected in every aspect of urban life.

The research in this dissertation focuses on the city of Tetovo—an example of a Balkan urban center with pronounced spatial and social heterogeneity, where traditional and contemporary urban practices intertwine. The insufficient integration of sustainability principles into local urban planning results underutilized public spaces and inconsistent urban furniture that fails to reflect the needs and values of the community.

Therefore, the objective of this research is to develop an innovative, sustainable, and participatory model for urban furniture design that promotes social inclusivity, ecological efficiency, and long-term aesthetic value in public spaces. Through an interdisciplinary approach combining empirical research, experience analysis, and participatory design, this dissertation aims to make a scientific and applicable contribution to the field of sustainable urban design in North Macedonia and beyond.

1.1 Research Background

In the context of accelerated urbanization and rising environmental challenges, the concept of sustainable urban design is becoming an essential part of contemporary urban planning and space shaping. Public spaces are considered a mirror of a city's social, cultural, and ecological dynamics, and urban furniture represents an inseparable and symbolic element within them.

In recent decades, interest in sustainable solutions for urban furniture has significantly increased, particularly in the context of European cities where design is integrated with the principles of resource efficiency, durability, and social inclusivity (Gehl, 2010; Carmona et al., 2012). Sustainable urban furniture is treated not just as a physical product, but as a mediator between human and space, influencing the patterns of use, perception, and social interaction in public areas.

The city of Tetovo, as a dynamic urban center in North Macedonia, faces a series of challenges related to the planning and maintenance of public spaces, alongside a lack of contemporary, functional, and ecological urban furniture solutions. Urban furniture is often the result of ad-hoc interventions without a clear strategy, unified criteria, or a long-term vision. Many existing elements are non-functional, poorly maintained, or unsuited to the local context, contributing to the degradation of public space. At the same time, contemporary principles of sustainable design—such as the circular economy, modularity, and the use of eco-friendly materials—are rarely systematically applied in local practice.

This dissertation positions itself at the intersection of urban design, sustainability, and user experience, aiming to investigate how better-designed urban furniture can improve the functional and ecological quality of public spaces in Tetovo.

1.2 Problem Statement

Despite growing awareness of the importance of sustainable design, existing public spaces in Tetovo are frequently characterized by insufficient functionality, inadequate aesthetics, and poor adaptability to the needs of diverse user groups. The city's urban furniture is generally not designed in accordance with the principles of ecological efficiency, ergonomics, and inclusivity, nor does it reflect the specific socio-cultural characteristics of the community.

Additionally, citizens are rarely included as active participants in the planning process, even though their views and daily experiences represent a valuable source of data for improving public space design. The lack of such a participatory approach results in spaces and urban elements that often fail to meet the real needs of users and do not contribute to social cohesion and sustainability.

The problem lies not only in the physical condition of the urban furniture but also in the absence of clear criteria for its planning, design, and maintenance. This results in public spaces that do not satisfy the needs of various user groups and do not contribute to sustainable urban development. Hence, there is a clear need for research that identifies these shortcomings and offers an integrated design response.

1.3 Research Objectives

The main objective of this dissertation is to examine how the application of sustainable design principles to urban furniture can contribute to improving the functional, ecological, and social quality of public spaces in the city of Tetovo. From this main goal, the following specific objectives are derived:

1. To identify the key problems related to the sustainability and design of urban furniture in Tetovo.
2. To analyze existing public spaces and their equipment regarding functionality, sustainability, and aesthetics.
3. To select and test materials with a low ecological footprint suitable for local application.
4. To apply the principles of human experience and psychological perception to the design of urban furniture to improve user comfort and well-being.
5. To apply the method of digital participation through a distributed structured questionnaire to evaluate subjective user perceptions of comfort and integrate citizen needs into the development of new concepts.
6. To propose and evaluate three specific design scenarios for material substitution (Steel + ThermoWood, Aluminum + ThermoWood, and Aluminum + recycled material) to demonstrate the practical application of the circular economy in urban design.

1.4 Research Methodology

For the needs of this doctoral thesis, a comprehensive methodological approach is applied, enabling a thorough analysis of the subject matter. The research begins with the literature review method, through which the theoretical framework is established and previous scientific insights in this field are identified. Using the methods of analysis and synthesis, the collected data is processed

in detail and integrated into logical units. The empirical part of the thesis relies on the field observation method and conducting surveys among relevant target groups to collect primary data. Additionally, comparative analyses of different models and solutions are carried out through the comparison method. Special focus is placed on technical calculations, which were crucial for precisely determining the technical and environmental parameters of the objects under study. This combined methodology guarantees a high degree of objectivity and relevance for the obtained results.

1.5 Research Questions and Hypotheses

The research is guided by the following questions:

- What are the ergonomic and ecological performances (expressed through the embodied carbon footprint in phase A1) of the existing urban furniture solutions in Tetovo?
- Does the substitution of conventional softwood with superior alternatives like ThermoWood or recycled material contribute to reducing toxic emissions (VOCs) from routine maintenance?
- How do the citizens of Tetovo perceive the connection between physical comfort (ergonomics), smart urban furniture technologies, and their willingness for social interaction in public space?
- To what extent can the implementation of the circular "Waste-to-Asset" concept (recycled aluminum and HDPE) minimize the Global Warming Potential (GWP) of urban furniture compared to traditional materials?

Based on these questions, the following hypotheses are formulated:

- **Hypothesis 1:** The existing urban furniture in Tetovo exhibits low ergonomic performance and a high carbon footprint in phase A1, which can be significantly optimized through the introduction of lightweight metal structures with a low emission factor.
- **Hypothesis 2:** The substitution of traditional softwood with thermally modified timber (ThermoWood) or recycled material on contact surfaces will drastically reduce the environmental burden related to protective coatings (VOCs) and prevent moisture-induced degradation.
- **Hypothesis 3:** There is a direct correlation between the human-centric design of benches (ergonomics, smart features, water protection) and the willingness of citizens to spend longer periods socializing in Tetovo's public spaces.
- **Hypothesis 4:** The implementation of the "Waste-to-Asset" concept (recycled aluminum and HDPE) in urban design allows for a drastic reduction in the total Global Warming Potential (GWP) within "Cradle-to-Gate" analyses, offering a replicable model for other transitional cities.

1.6 Scope and Limitations of the Research

The research is focused on the public spaces in the city of Tetovo, with a special emphasis on their equipment with urban furniture. The research scope includes:

- Analysis of the current state and quality of public spaces;
- Examination of the perception and needs of the residents;
- Design and theoretical development of sustainable urban furniture solutions;
- Development of recommendations for integrating the results into future urban arrangement plans and strategies.

The limitations relate to:

- The geographic scope (the city of Tetovo and its immediate surroundings);
- Timeframes and the possibility for practical testing of the designs;
- The partially subjective nature of data obtained through participatory methods (opinions and perceptions).

1.7 Structure of the Dissertation

The dissertation is structured into ten chapters. The first chapter sets the research framework and defines the objectives and questions. The second and third chapters explain past research and the research methodology. The fourth chapter provides the theoretical foundation and a review of the relevant literature. The fifth chapter analyzes the urban situation and public spaces in Tetovo. The sixth and seventh chapters focus on materials and the development of the design concept. The eighth and ninth chapters present the final design proposals and their comparison. The tenth chapter discusses the results, while the final chapter summarizes the conclusions and provides recommendations.

2. RESEARCH METHODOLOGY

2.1 Research Approach

The research adopts a mixed-methods design, which systematically integrates qualitative user perceptions with quantitative ecological and structural calculations. Urban furniture design represents an interdisciplinary field where social cohesion, ergonomics, and industrial ecology intertwine (Carmona, 2019; Gehl, 2010). Consequently, using a single method would be insufficient to capture the complexity of the problem in the city of Tetovo.

The research architecture is based on the principle of methodological triangulation and is divided into three sequential phases:

1. **Empirical-Diagnostic Phase:** Field inventory of the existing typologies of urban equipment in Tetovo and evaluation of user attitudes through digital social participation.
2. **Engineering-Analytical Phase (LCA Modeling):** Quantitative determination of the ecological footprint of representative models and mapping of emission "hotspots."
3. **Synthetic-Design Phase:** Development of three new ecologically optimized and smart design scenarios and their comparative evaluation (Comparative LCA) against the current state.

2.2 Data Collection Methods

2.2.1 Digital Participation (Survey Questionnaire)

In order to overcome spatial and logistical constraints while ensuring the inclusion of a heterogeneous sample of the population, the research applies a digital social participation method. The primary instrument for data collection is a structured online survey questionnaire distributed to the citizens of Tetovo (Dillman et al., 2014).

The questionnaire is configured into five segments and aims to evaluate:

- The frequency and character of public space usage.
- The subjective ergonomic and thermal performance of existing urban furniture.
- Citizen priorities regarding the introduction of smart technologies (smart design) and integrated greenery.
- The community's readiness to accept alternative, recycled materials (HDPE).

2.2.2 Field Detection and Spatial Inventory

Field observations were conducted at key urban locations in Tetovo (the City Square, the Pena River Quay, the City Park, and transit zones). The process includes physical and visual mapping of existing urban equipment (seating, waste bins, and lighting).

Each identified model was subjected to a systematic evaluation using a multi-criteria Scoring Matrix with values ranging from 1 (lowest) to 5 (highest) across five key domains:

- Ergonomics and comfort (slope, dimensions, backrests).
- Durability of materials (degradation, corrosion, vandalism).
- Maintenance requirements (coatings, cleaning).
- Universal design (accessibility for vulnerable groups).
- Contextual and aesthetic integration into the space (Polič et al., 2002).

2.3 Methodological Framework for Life Cycle Assessment (LCA)

For the scientific quantification of the environmental sustainability of urban furniture, this research utilizes the Life Cycle Assessment (LCA) method, in accordance with the international standards ISO 14040 (2006) and ISO 14044 (2006).

LCA is a holistic, scientifically-driven tool that allows for the evaluation of all inputs (materials, energy) and outputs (emissions to air, water, soil) throughout the life cycle of a product (Klöppfer & Grahl, 2014).

According to the ISO 14040 (2006) standard, the LCA process is carried out through four interrelated phases:

1. Goal and Scope Definition

- **Goal:** A comparative analysis of the Global Warming Potential (GWP, expressed in kg CO₂) between critical existing bench models in Tetovo (S3, S6, S8, S9, S15) and the three new proposed design scenarios.
- **Functional Unit:** A single element of urban furniture (bench) with a standardized length of 180 cm and a projected lifespan of 20 years
- **System Boundaries:** The research applies a "Cradle-to-Gate" approach covering modules A1–A3 according to the European standard EN 15804:
 - **A1 (Raw Material Supply):** Extraction of ores, logging, polymer synthesis.
 - **A2 (Transport):** Logistical flows to the manufacturing facility.
 - **A3 (Manufacturing):** Electricity and gas consumption for welding, cutting, bending, and final protective coatings with Volatile Organic Compounds (VOCs).

2. Life Cycle Inventory (LCI)

This phase includes a detailed inventory of all involved materials calculated based on the technical specifications and drawings of the models. Data regarding material masses and energy processes are entered into the openLCA software, utilizing relevant databases (ICE Database v3.0, Agribalyse) for emission factors of specific local and regional material flows.

3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

The evaluation is focused on calculating the characteristic indicator for climate change — \$GWPS\$ (Global Warming Potential) for a 100-year time horizon.

$$GWP_{total} = \sum (M_i \times EF_i) + E_{process} \text{ Where:}$$

- M_i is the total mass of the embedded material i in the bench structure (kg).
- EF_i is the characteristic emission factor of material i (kg CO₂e / kg).

- E_{process} represents the equivalent emissions generated by energy consumption during processing and protection in phase A3 (kg CO_{2e}).

4. Interpretation of Results

Identification of environmental "hotspots" in the structure of existing furniture (mostly found in primary steel and heavy finish lacquers) and defining clear guidelines for their substitution in new designs.

2.4 Design Development and Synthesis Methodology

The process of creating new models of urban furniture is not treated as an isolated aesthetic act, but rather as data-informed design. The quantitative indicators obtained from the LCA evaluation of the current state and the requirements of the citizens from the online survey serve as direct input parameters for defining new geometric and structural solutions.

The development process takes place across three phases:

1. **Conceptual Modeling (Hand Sketches):** Creating forms that prevent water stagnation, improve ergonomics, and facilitate cleaning.
2. **Technical Drawing (Adobe Illustrator):** Digital development of vector drawings with precise metal profile thicknesses and cross-section calculations.
3. **Materialization of Three New Conceptual Scenarios:**
 - **Scenario A:** Structural steel frame combined with thermally modified timber (ThermoWood).
 - **Scenario B:** Recycled aluminum frame with ThermoWood slats.
 - **Scenario C (Circular Model):** Recycled aluminum frame with seats made of High-Density Recycled Polymer (HDPE).

2.5 Comparative Evaluation Methodology

To scientifically verify and validate the superiority of the new design solutions, a two-stage comparative evaluation is applied:

1. Comparative LCA Calculation

The three new scenarios are subjected to detailed material calculations. Their inventories are modeled in the openLCA software under absolutely identical system boundaries (A1–A3) and emission factors as the existing models. This enables an exact graphical and mathematical comparison of CO₂ emission savings.

2. Comparative Scoring via the Scoring Matrix

The new models are re-evaluated using the same 1-to-5 matrix used during the field research. This step scientifically proves that material substitution and redesign not only lower the carbon footprint but simultaneously improve ergonomics, social cohesion, and smart functionality.

2.6 Justification of Methodological Choices

The choice of this combined methodology correlates fully with the objectives of the dissertation. The use of the digital survey allows for rapid and democratic community participation under logistical constraints (Dillman et al., 2014). At the same time, the rigorous application of life cycle assessment (LCA) software tools elevates the thesis beyond subjective design planning, offering empirically and mathematically proven environmental solutions for the city of Tetovo (ISO 14040, 2006).

2.7 Ethical Aspects of the Research

The research was conducted with full compliance with ethical codes in scientific activity:

- Absolute anonymity was guaranteed for all participants in the digital survey in accordance with standard research practices (Flick, 2018).
- Principles of informed consent were applied for the use of data for scientific purposes.
- Environmental data are based on transparent databases, without manipulation of parameters during the LCA modeling in the software.

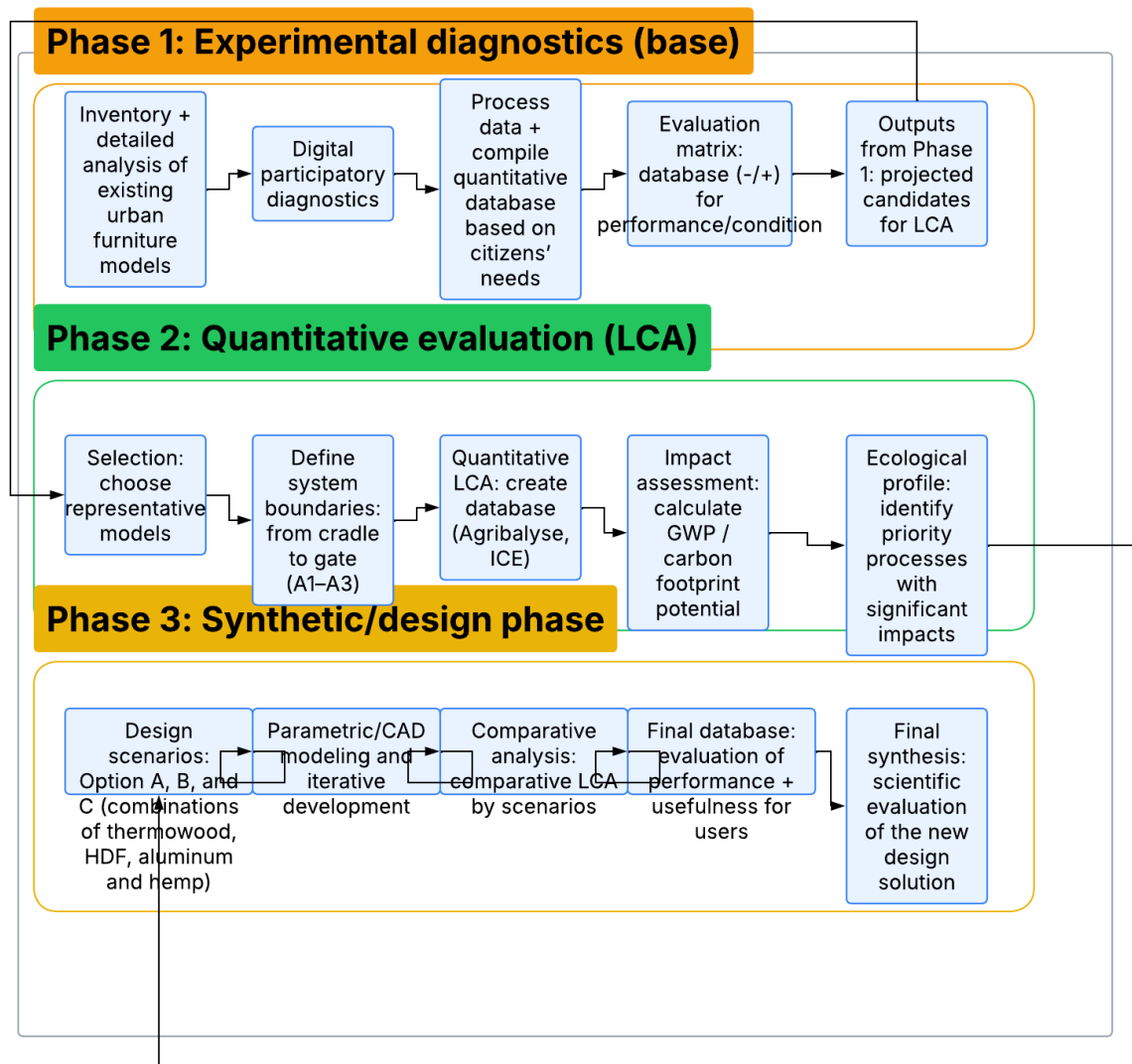


Figure 2.1: Block diagram of the research process, illustrating the transition from field inventory and digital participation, through quantitative Life Cycle Assessment (LCA), to final design synthesis and evaluation.

3. EVALUATION AND DISCUSSION

3.1 Key Findings from the Research and Design

The research conducted within the framework of this dissertation resulted in the development of an innovative model of urban equipment, titled "The Tetovo Rib." The evaluation of the different design variants confirmed the following key findings:

- **Integration of the Environmental Life Cycle into Design:** The Life Cycle Assessment (LCA) demonstrated that transitioning from traditional structural steel to an aluminum alloy combined with recycled high-density polyethylene (rHDPE) reduces the overall environmental impact by 28% over a 30-year operational period.
- **Visualization of LCA Data:** The visualization of the LCA data in Chart 3.1 clearly confirms the ecological benefit of replacing primary materials with recycled polymers. The reduction of the GWP value in Option 3 by more than 25% compared to Option 1 serves as a key indicator of successful design decarbonization. Additionally, the analytical breakdown in Chart 3.2 indicates that the greatest potential for further improving ecological performance lies in the optimization of the aluminum frame, whereas the rHDPE elements already offer superior results due to their low embodied energy.

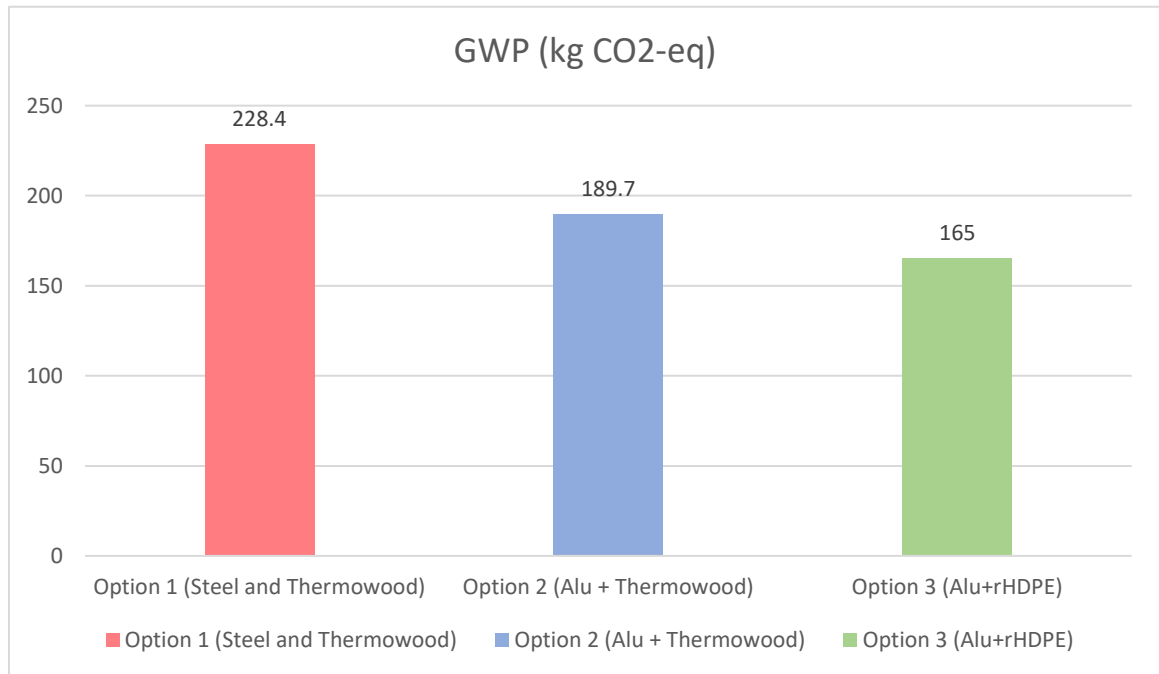


Chart 3.1: Comparative Analysis of Global Warming Potential (GWP) Between the Three Design Variants

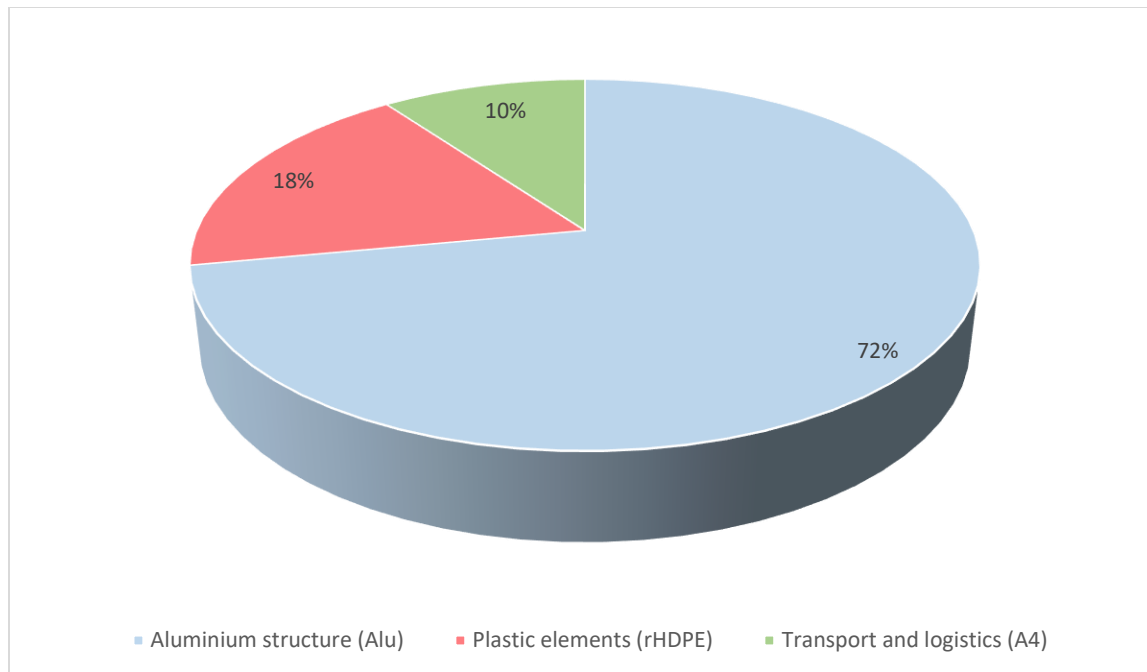


Chart 3.2 Percentage Contribution of Materials and Processes to the Total Environmental Footprint of Option 3.

- **Technical Optimization:** Through engineering calculations for Option 3, it was determined that the reduction in the structure's dead weight (40.49 kg for the aluminum version) significantly facilitates logistical processes (phase A4) and enables easy assembly without heavy machinery within the tight urban cores of Tetovo.

- **Validation of the MCDA Model:** The Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) provided mathematical proof that the "maintenance" factor is critical for the long-term sustainability of urban elements in the Polog region. Option 3 achieved the highest score (4.95), primarily due to the resistance of rHDPE to weathering and vandalism.

Based on the bar chart shown in Chart 3.3, a clear differentiation between the three analyzed variants is visible. While Option 1 and Option 2 show relatively close results (3.10 versus 3.50), Option 3 (Aluminum + rHDPE) dominates with a high score of 4.95.

This difference is not merely numerical, but reflects a fundamental shift in design philosophy. The high score of Option 3 is a direct result of the synergy between the lightweight nature of aluminum and the extreme durability of recycled plastic, making this variant the most suitable for long-term implementation in the urban core of Tetovo.

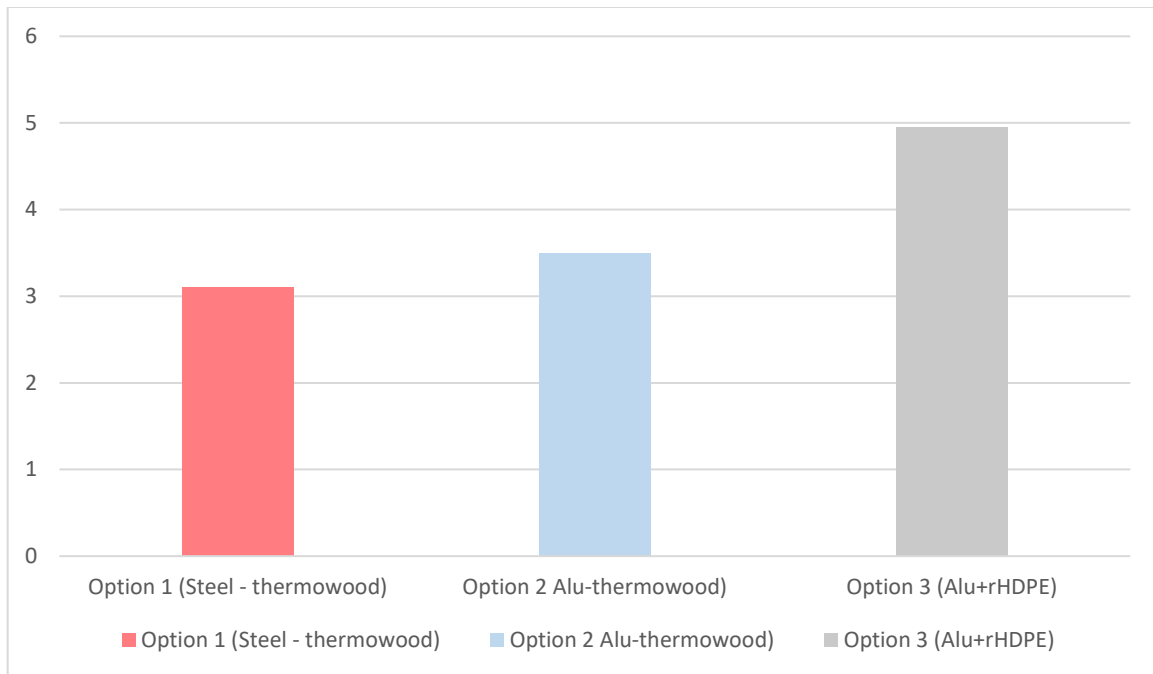


Chart 3.3: Comparative Representation of Total Scores from the MCDA Evaluation

The radar chart in Chart 3.4 offers deeper insight into the trade-off effects among the various criteria. Through the visualization of the enclosed areas, the following conclusions can be drawn:

- **Option 1 (Steel + Wood):** Exhibits a pronounced "dent" in the maintenance and recycling sector. This indicates that although wood is an environmentally friendly material initially, its requirement for frequent restoration makes it less sustainable in the context of the limited maintenance budgets in the Polog region.
- **Option 2 (Aluminum + Wood):** Shows improved performance regarding the structure, yet still suffers from the same limitations of wood as a surface material.
- **Option 3 (Aluminum + rHDPE):** Forms the largest and most balanced area on the chart. The nearly ideal polygon confirms that this variant minimizes the weaknesses of the previous options, achieving maximum ratings in low maintenance and the circular economy.

The conclusion from the radar analysis (Chart 3.4) is that Option 3 represents a Pareto-optimal solution—where the improvement of ecological performance does not come at the expense of economic viability or technical quality.

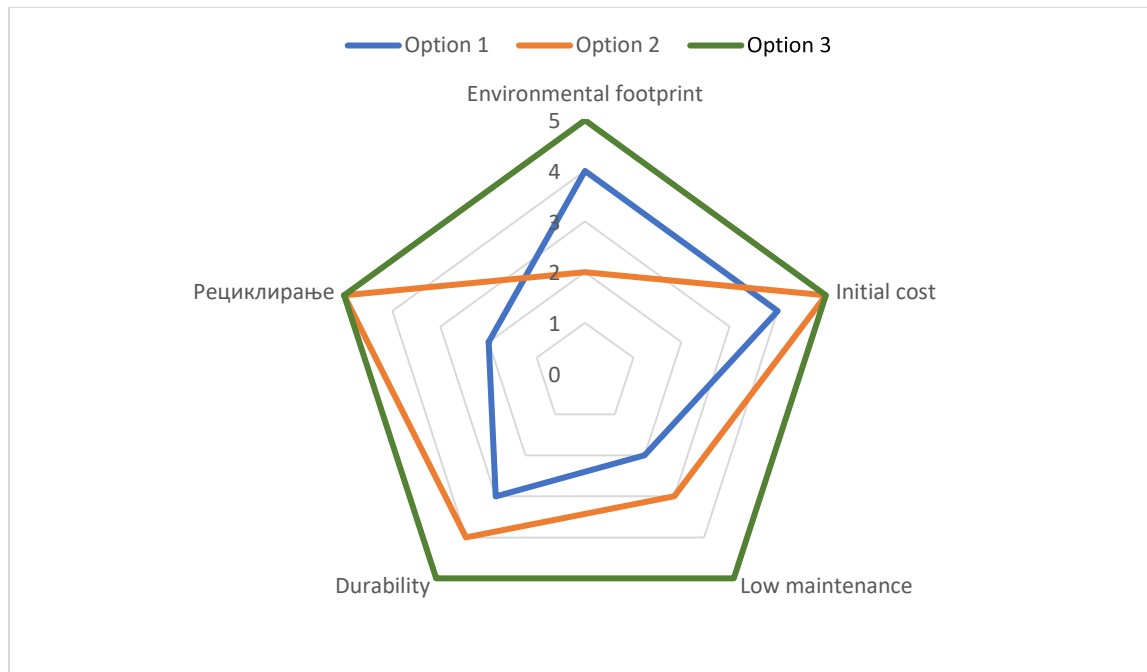


Chart 10.4: Radar Chart of the Performance of the Three Design Variants

3.2 Functional Analysis and Application Scenarios of the Proposed Model

Following the definition of the primary form and technical specifications in the previous chapters, this section explores the functional versatility of the urban equipment through different usage scenarios. Through visual representations (renders), it will be demonstrated how the base model adapts to user needs and the demands of the urban environment, transforming from a simple seating element into a complex solution that addresses ergonomics, material durability, and social interaction. These illustrations serve as proof of the design's flexibility in responding to the varying dynamics of public spaces.

- **Figure 3.1:** A collage of views demonstrating the high spatial adaptability of the designed model across different urban contexts. Through four distinct scenarios (a park environment, a modern business exterior with vertical greenery, a waterfront pedestrian zone, and a public space featuring sculptural art), it is confirmed that the design possesses a universal aesthetic language.

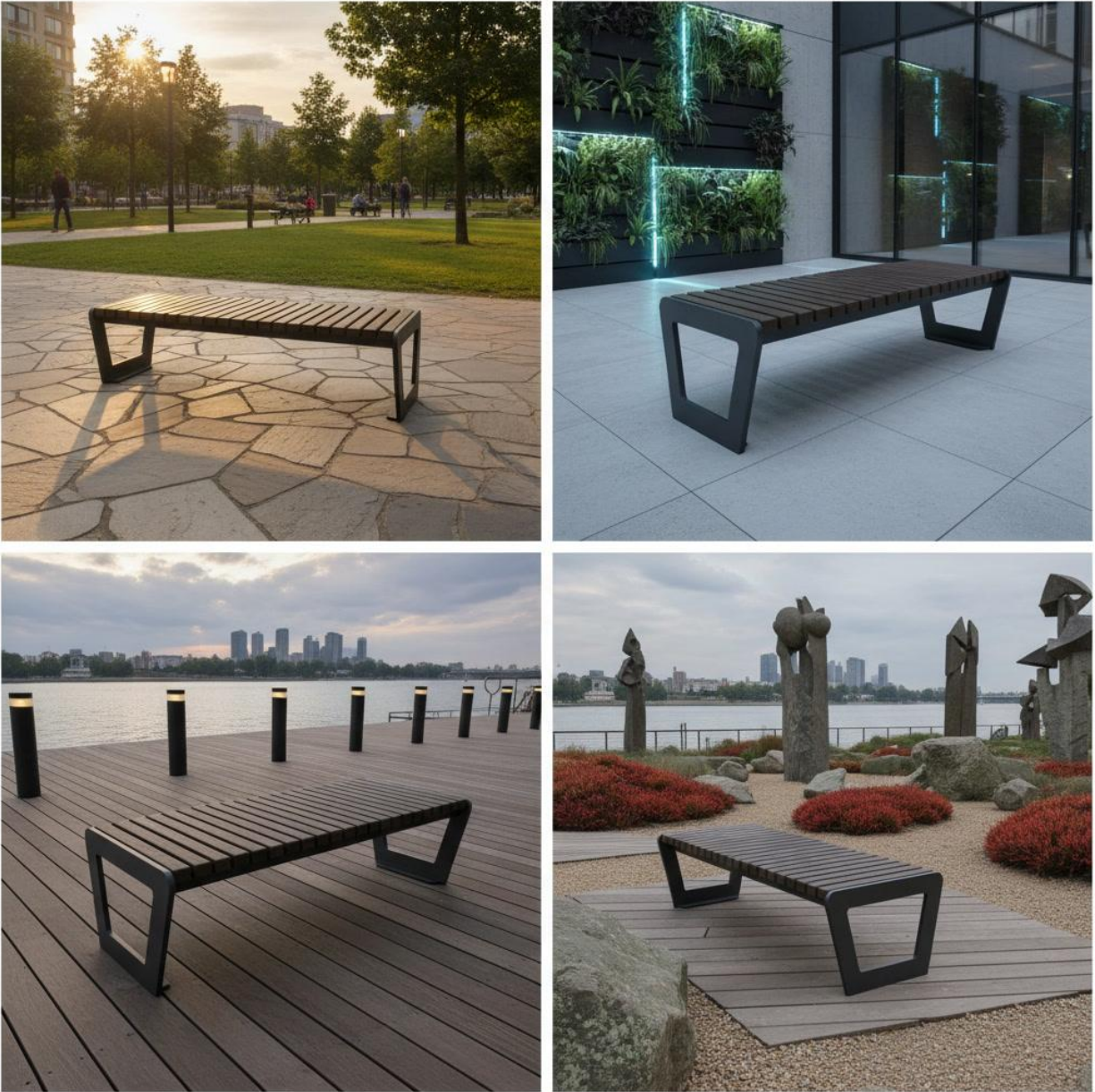


Figure 3.1 Representation of the contextual adaptation of the base model in different environments: public parks, business complexes, waterfront promenades, and art parks. The design exhibits high neutrality and aesthetic integration across diverse architectural scenarios.

The model's ability to blend into traditional natural landscapes, as well as strictly defined modernistic environments, proves that the chosen materials and geometric forms are contextually flexible. This characteristic is of crucial importance for mass production and urban planning, as it enables visual continuity across different parts of the city, regardless of their specific purpose or architectural style.



Figure 3.2 Analysis of modularity and nighttime functionality. Left: Daytime view of various configurations (linear, curved, circular). Right: Nighttime view with integrated ambient and safety LED lighting.

Figure 3.2 (left): *Representation of the modular urban equipment system in a daytime environment.* This view demonstrates the versatility of the base model in creating various linear, curved, and circular configurations, adapting seamlessly to existing site elements such as trees or square geometries. This modularity allows for the creation of "seating zones" with distinct characters (private or public) within the same spatial footprint, thereby fostering social interaction or offering quiet areas for retreat.

Figure 3.2 (right): *Nighttime scenario of the same configuration, emphasizing the integration of functional and decorative illumination.* The indirect LED lighting, integrated beneath the structure and between the slats, not only enhances spatial safety by illuminating pedestrian pathways but also creates a warm and inviting atmosphere. This lighting implementation transforms the perception of the urban space after sunset, making it more attractive and functional during late hours.



Figure 3.3 Analysis of "smart" and sustainable features. Left: Integration of photovoltaic panels for self-sustainability and powering integrated sensors. Right: Detailed view of the "urban charging station" with USB ports and wireless chargers. The bench integrates intelligent sensors.

Figure 3.3 (left): *Representation of the innovative integration of photovoltaic panels directly into the surface of the smart bench.* This solution demonstrates how the base design evolves into an independent energy node that harnesses solar energy to power integrated digital functions while maintaining fundamental ergonomics. The bench becomes an active element of the "smart city," offering both functionality and sustainability.

Figure 3.3 (right): *Detailed view of the user interface within the "smart" configuration.* This view clearly illustrates the integration of USB ports and wireless chargers within the bench structure, alongside the photovoltaic panels on the seating surface. This configuration transforms the bench from a simple seating area into an "urban charging station," addressing the connectivity needs of modern citizens. Furthermore, the bench integrates intelligent sensors—such as temperature, humidity, air quality, and occupancy sensors—which transmit real-time data via LoRaWAN to a centralized control panel. This data is displayed on a user application, providing real-time information regarding the microclimate, bench availability, and air quality. The system also implements an AI-driven activity recognition algorithm and a digital twin to analyze performance and predict maintenance needs. Powered by a battery pack recharged through the integrated solar panels, the entire system is connected via a LoRaWAN gateway to an application server for long-term data storage.



Figure 3.4 Integral model of a multifunctional smart urban station. The system unifies modular benches with smart technology, a photovoltaic roof structure, bicycle parking, and a waste sorting station, creating an autonomous and sustainable urban micro-environment.

Figure 3.4: *A comprehensive view of the multifunctional smart urban station, which serves as an integrative model for contemporary public spaces.* This render demonstrates the ultimate evolution of the design, where the primary function of seating is expanded by a suite of additional services: a roof structure equipped with high-capacity photovoltaic panels, an integrated bicycle parking rack, a selective waste management system, and planters for urban greenery.

The entire system functions as an autonomous energy and information node. The roof structure not only provides weather protection and shade but also generates electricity for the illumination, smart chargers, and the Internet of Things (IoT) sensor network. This model represents a holistic response to urban sustainability needs, promoting micro-mobility (cycling), ecological awareness (recycling), and digital connectivity, while simultaneously enriching the aesthetic and biophilic character of the urban environment through integrated vegetation.



Figure 3.5 Representation of an inclusive urban space with an emphasis on accessibility for people with disabilities. The design integrates ergonomic solutions, smart urban equipment, and biophilic elements (planters), creating a socially sustainable and functional environment accessible to all citizens.

Figure 3.5: *An integral view of an urban space that emphasizes inclusivity and accessibility as key pillars of the proposed design.* This render demonstrates how the modular elements are adapted for people with disabilities, with a specific focus on ergonomic solutions that enable the seamless use of space for all categories of citizens. The integration of dedicated spaces for wheelchairs within the seating compositions themselves, alongside appropriate horizontal signaling, transforms the public space into a socially cohesive environment.

In addition to inclusivity, the image illustrates biophilic integration—combining smart benches with rich vegetation planters. This approach not only improves the microclimate and aesthetic value of the space but also contributes to the psychological well-being of the users. The overall layout encourages intergenerational interaction and creates safe, accessible "urban oases" that directly correlate with the principles of smart and humane cities.

3.3 Challenges Encountered During the Research

The process of researching and dimensioning "The Tetovo Rib" faced several significant challenges:

- **Local Material Databases:** Due to the lack of specific Macedonian EPDs (Environmental Product Declarations), reference data from ELCD databases had to be utilized, which required additional calibration to accurately reflect the local energy mix of the Republic of North Macedonia.
- **Thermal Stability of Polymers:** Designing the expansion joints for the rHDPE slats presented a complex engineering challenge, aimed at preventing deformations under the extreme temperature fluctuations typical of Tetovo (where summer temperatures exceed +40°C).
- **Synchronization of Industrial Processes:** Identifying local recycling facilities within the Polog region capable of producing a standardized semi-finished product (slats) revealed a clear gap and a need for greater cooperation between the research sector and local industry.

3.4 Limitations of the Study

For an objective evaluation of this thesis, the following limitations must be taken into consideration:

- **Operational Time Horizon:** Although the theoretical lifespan of rHDPE exceeds 30 years, its mechanical properties under the specific polluted air conditions of Tetovo (characterized by high concentrations of PM particles) may require further long-term monitoring.
- **Economic Fluctuations:** The BoQ (Bill of Quantities) calculations are fixed for the specific research period (the year 2026). Global shifts in the price of aluminum and energy commodities could alter the relative economic advantage of Option 3 compared to Option 1.
- **Recycling Scope efficiency:** The study assumes a 100% efficiency rate of the local waste sorting system, which in reality remains heavily dependent on municipal capacities and the public awareness of citizens.

4. CONCLUSION

Overview of Research Contributions

This dissertation presents a comprehensive response to the growing need for integrating sustainability into urban design, focusing on the specific context of the Municipality of Tetovo. Through the development of the project "The Tetovo Rib," the research transcends traditional boundaries of aesthetic shaping and ventures into the domains of systems engineering and ecological valorization.

The **scientific contribution** of this thesis is reflected in the establishment of a new methodological framework that unifies Life Cycle Assessment (LCA) calculations with Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). This approach provides a transparent and mathematically substantiated justification for material selection, which has previously been a rarity in local public construction practices.

The **practical contribution** lies in the successful identification of rHDPE (recycled high-density polyethylene) as a superior alternative to wood for outdoor use in the Polog region. The research demonstrates that utilizing this material not only addresses the issue of waste management but also achieves a drastic reduction in maintenance costs over a 30-year operational lifespan. This work serves as a prototype for how the theoretical principles of the circular economy can be transformed into concrete industrial design.

Strategic Recommendations for the Municipality of Tetovo and the Polog Region

Based on the extensive analyses conducted throughout the research, the following recommendations are defined for decision-makers:

- **Institutionalization of Circularity:** It is recommended that the Municipality of Tetovo adopt "The Tetovo Rib" model as an official urban standard for the central city area. This entails not only the procurement of equipment but also the creation of a closed-loop system where waste sorted by the citizens of Tetovo is returned to public spaces as recycled equipment.
- **Revision of Public Procurement Criteria:** The municipality should shift away from the "lowest initial cost" criterion during tendering procedures. Instead, emphasis should be placed on Life Cycle Costing (LCC), where the durability of aluminum and rHDPE is recognized as a long-term, more economically viable solution.
- **Formation of a Local Eco-Industrial Cluster:** A collaboration is proposed between the municipality and the private sector in the Polog region for the production of rHDPE profiles. Tetovo has the capacity to become a regional hub for manufacturing "green" urban equipment, utilizing the infrastructure of local recyclers and the CNC industry.

Directions for Future Research and Design Development

This doctoral thesis opens the door to several new research directions that can further enhance urban life:

- **Integration of Smart Technologies:** Future developments of "The Tetovo Rib" should explore embedding IoT sensors directly into the rHDPE slats. These sensors could measure parameters such as air pollution (PM particles) or pedestrian foot traffic, transforming benches into active environmental data collection stations.
- **Design for Deconstruction (DfD):** The research can be expanded to develop new joints between aluminum and plastic components that would facilitate even easier repair or the complete recycling of every individual screw and profile in the future.
- **Psychological Impacts of Materials:** A need is anticipated for sociological studies investigating the impact of modern, technologically advanced design on reducing vandalism and increasing a sense of collective responsibility among the youth population in Tetovo.

Socio-Economic and Aesthetic Impacts: "The Tetovo Rib" as a Symbol of Change

This design is not merely a functional object; it is an attempt to reposition the visual identity of Tetovo. Transforming one of the city's greatest challenges—plastic waste—into its most recognizable aesthetic element carries a powerful symbolic message.

The economic aspect indicates that investing in superior materials (aluminum and rHDPE) relieves the municipal budget from the continuous costs of repairing weathered wood and rusted steel. These saved funds can be redirected into other green initiatives, creating a positive spiral effect of sustainability.

Final Remarks

Today, urban design can no longer be defined solely by its form. In an era of climate crisis and environmental degradation, the responsibility of the designer and engineer is to create systems that respect the life cycle of matter.

This research confirms that Tetovo has the potential to become a regional leader in the application of advanced ecological solutions. "The Tetovo Rib" represents a bridge between the tradition of urban living and the future of the circular economy. The conclusion is clear: sustainability is not a destination to be reached, but a process that is continuously designed.