

Pneumatske i kinematske konstrukcije

Pažin, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:348142>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
KINEMATSKE I PNEUMATSKE KONSTRUKCIJE

Iva Pažin

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
KINEMATSKE I PNEUMATSKE KONSTRUKCIJE

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:
Iva Pažin

Zagreb, 2023.

SAŽETAK

Ovaj rad istražuje kinematske i pneumatske konstrukcije, njihovu primjenu i razvoj tijekom stoljeća uz kontinuirani napredak tehnologije. Pneumatske konstrukcije su inovativni pristup arhitekturi koji koristi membranske materijale pod pritiskom zraka kako bi stvorio stabilne i lagane strukture. Razlikuju se od tradicionalnih metoda jer ne zahtijevaju teške potporne elemente poput čelika i betona. Često se primjenjuju za izgradnju sportskih dvorana, izložbenih dvorana i drugih privremenih ili polutrajnih građevina.

Kinematske konstrukcije su inovativni koncept u projektiranju zgrada s pokretnim elementima koji omogućuje prilagodbu oblika i funkcionalnosti. Napredak u mehanici, elektronici i robotici omogućio je praktičnu primjenu ovog koncepta, otvarajući nove mogućnosti u arhitekturi. Kinematska arhitektura predstavlja značajan potencijal za stvaranje interaktivnih, dinamičnih i inovativnih građevina koje će oblikovati gradove budućnosti. Ovakve zgrade mogu poboljšati estetske karakteristike, odgovarati na okolišne uvjete i obavljati funkcije koje nisu moguće za statične strukture.

Ključne riječi: kinematske konstrukcije, pneumatske konstrukcije, suvremene konstrukcije

SUMMARY

This paper explores kinematic and pneumatic constructions, their applications, and their development throughout the centuries alongside continuous technological advancements. Pneumatic constructions represent an innovative approach to architecture that utilizes membrane materials under air pressure to create stable and lightweight structures. They differ from traditional methods as they do not require heavy supporting elements like steel and concrete. They are often applied in the construction of sports arenas, exhibition halls, and other temporary or semi-permanent buildings. Kinematic constructions are an innovative design concept for buildings with movable elements, allowing for shape and functionality adaptation. Advances in mechanics, electronics, and robotics have made practical implementation of this concept possible, opening new possibilities in architecture. Kinematic architecture holds significant potential for creating interactive, dynamic, and innovative buildings that will shape the cities of the future. Such buildings can enhance aesthetic characteristics, respond to environmental conditions, and perform functions not possible for static structures.

Keywords: kinematic constructions, pneumatic constructions, contemporary constructions

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1. POVIJEST PNEUMATSKIH I KINEMATSKIH KONSTRUKCIJA	2
2. PNEUMATSKE KONSTRUKCIJE.....	4
2.1. Temeljna podjela.....	5
2.1.1 Potpomognute membrane	5
2.1.2. Napuhane membrane.....	7
2.3. Komponente sustava	9
2.4. Karakteristike	11
2.5. Primjena.....	12
3. KINEMATSKE KONSTRUKCIJE	13
3.1. Temeljna podjela.....	14
3.1.1. Kinematski konstrukcijski sustavi	14
3.1.2. Kinematski unutarnji elementi.....	15
3.1.3. Kinematske fasade	16
3.2. Karakteristike	18
3.3. Primjena.....	19
4. IZVEDENI PRIMJERI	20
4.1. Sliding House	20
4.2. Ark Nova	21
4.3. AT&T stadion	23
5. ZAKLJUČAK	25
6.LITERATURA.....	26
7. PRILOZI	28

1. UVOD

Suvremeni zahtjevi u građevinskoj industriji, kao što su visok učinak, kraće vrijeme gradnje, visoka razina kvalitete, neovisnost o meteorološkim prilikama te preciznost dimenzija i oblika konstrukcija, nameću potrebu za inovativnim pristupima gradnji. Tradicionalni načini gradnje sve više se nadopunjuju suvremenim tehnikama koje omogućavaju postizanje ovih zahtjeva. Ovaj završni rad usmjeren je na analizu kinematskih i pneumatskih konstrukcija kao grana suvremene arhitekture koje se ističu inovativnim pristupima u postizanju visokih standarda u građevinskom sektoru.

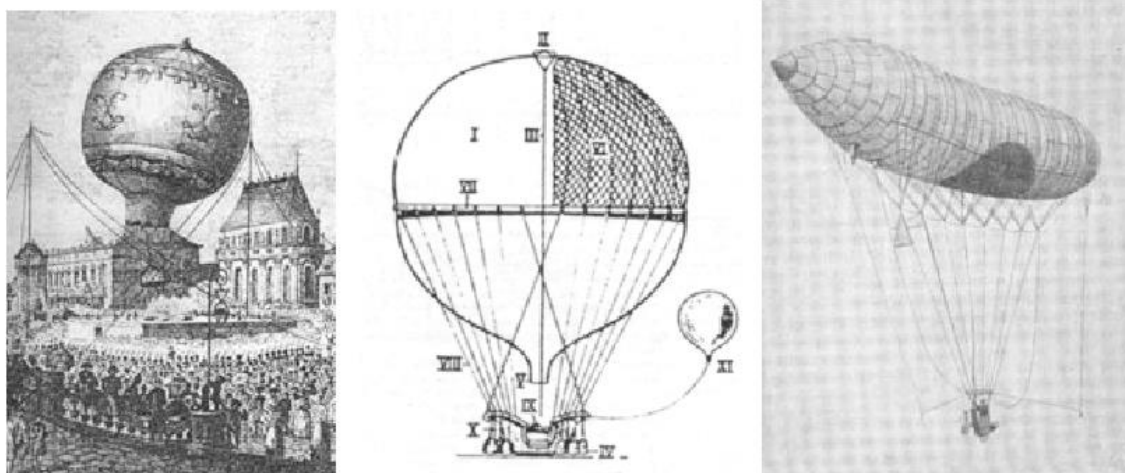
Razvoj suvremene arhitekture neizbježno se suočava s potrebom za pronalaženjem novih metoda i tehnika gradnje kako bi se zadovoljili zahtjevi suvremenih društvenih i ekonomskih okvira. Pneumatske konstrukcije se razlikuju od tradicionalnih građevinskih metoda koje se oslanjaju na teške potporne elemente. S druge strane, kinematske konstrukcije pružaju mogućnost prilagodbe oblika kako bi zadovoljile potrebe korisnika i okolišne uvjete, ističući fleksibilnost i prilagodljivost suvremene arhitekture.

Cilj ovog istraživanja je dublje istražiti primjenu, karakteristike, materijale, načine gradnje i uvjete kinematskih i pneumatskih konstrukcija u suvremenoj arhitekturi. Kroz analizu njihove povijesti, razvoja i praktičnih primjera, planiramo istražiti kako ove konstrukcije omogućavaju postizanje zahtjeva suvremene građevinske industrije. Rastući interes za inovacijama u građevinskom sektoru potiče istraživanje novih materijala i tehnologija kako bi se unaprijedile ove grane arhitekture.

Očekujemo da će rezultati ovog istraživanja pružiti dublje razumijevanje kinematskih i pneumatskih konstrukcija te njihovog potencijala u suvremenoj arhitekturi. Kroz analizu praktičnih primjera, želimo istaknuti njihovu ulogu u postizanju efikasnosti, inovacija i kvalitete u građevinskoj industriji.

1. POVIJEST PNEUMATSKIH I KINEMATSKIH KONSTRUKCIJA

Razvoj pneumatskih konstrukcija započinje krajem 18. stoljeća, kada su braća Montgolfier uspješno konstruirala prvi balon na topli zrak, a nedugo nakon Jacques A. C. Charles prvi balon punjen vodikom. Tijekom kasnijih stoljeća slijedi sporiji razvoj sve do početka 20. stoljeća kada je F.W. Lanchester je osmislio dizajn za 'zračni šator' u kojem je predloženo da se tkanina može napuhati pod niskim tlakom te načiniti naseljivo područje. Dalje, razvio je koncept zračno potpomognute kupole koje su imale mnogo potencijalnih primjena a protezale su se čak preko 650 m. Tijekom i neposredno nakon Drugoga svjetskog rata primitivne pneumatske konstrukcije koristile su se u vojne svrhe, nakon čega kreće i njihova civilna primjena [1].



Slika 1. Razvoj pneumatskih konstrukcija kroz povijest.

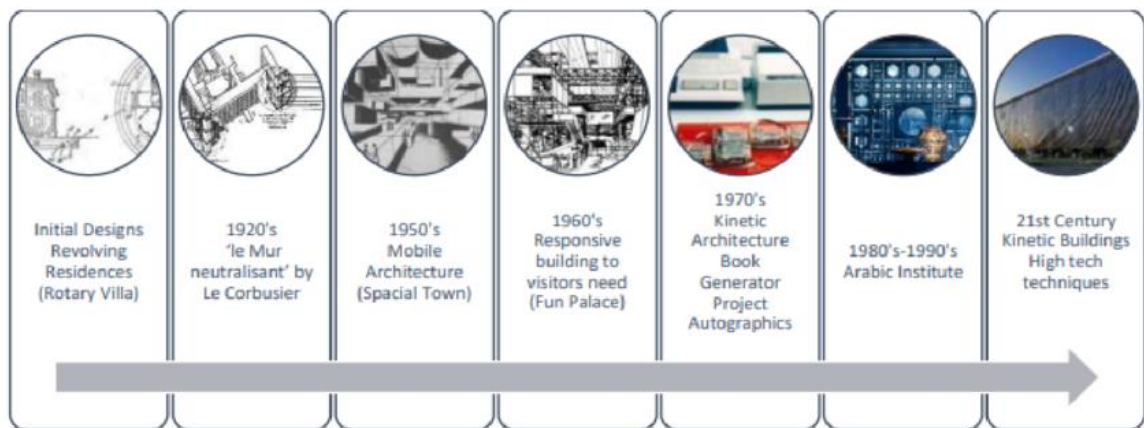
Šezdesetih godina 20. stoljeća pojavljuju se grupe arhitekata i umjetnika koje se okreću potencijalima pneumatskih konstrukcija kao obliku izražavanja proaktivne društvenosti, privremenosti, mobilnosti i svega suprotnog od statičnosti tadašnjeg društva i arhitekture. Vrhunac interesa za koncept zračno potpomognute konstrukcije dolazi na Svjetskoj izložbi u Osaki 1970. godine kada je korišten za paviljon Sjedinjenih Američkih Država na Expo 70. Koncept je došao do izražaja jer je bio jeftiniji za izradu i otporniji na ekstremnu klimu u Japanu.

Nakon ubrzanog razvoja u šezdesetim i sedamdesetim godinama 20. stoljeća slijedi stagniranje u razvoju pneumatskih konstrukcija. Ponovni zamah u razvoju doživljavaju na prijelazu iz 20. u 21. stoljeće što je posljedica pojave novih tehničkih i umjetnih

materijala s poboljšanim mehaničkim, fizikalnim i drugim svojstvima te znatni napredak i razvoj računalnog projektiranja [2].

Kinetička arhitektura ima svoje korijene u srednjem vijeku, gdje je korištena u izgradnji obrambenih utvrda poput pokretnih mostova.

U 1930-ima, arhitekti su ozbiljno počeli istraživati koncept kinetičke arhitekture, te je u tom razdoblju objavljeno mnogo knjiga i radova o toj temi. Međutim, prvi konkretni primjer primjene ovog koncepta pojavio se tek u 1940-ima.



Slika 2. Razvoj kinematskih konstrukcija kroz povijest

U 1960-ima i 1970-ima, s razvojem računalnih znanosti i građevinske tehnologije, interes za interaktivnu, prilagodljivu i inteligentnu arhitekturu značajno je porastao.

Neki od ranijih primjera kinetičke arhitekture uključuju Villu Girasole, izgrađenu 1935. godine, koja se rotira prateći kretanje sunca tijekom dana [3].

Kinetička arhitektura kombinira umjetnost i tehnologiju kako bi stvorila dinamične i funkcionalne građevine koje se prilagođavaju okolišu i ljudskim potrebama [4].

2. PNEUMATSKE KONSTRUKCIJE

Pneumatske konstrukcije predstavljaju izuzetno intrigantan pristup arhitekturi, koji koristi membranske materijale pod pritiskom zraka kako bi stvorio stabilne i izdržljive strukture. Ove konstrukcije su različite od tradicionalnih građevinskih metoda koje se oslanjaju na teške potporne elemente poput čelika, betona ili drva. Umjesto toga, pneumatske konstrukcije koriste princip tenzorskog zatezanja i ravnoteže između unutarnjeg pritiska zraka i napetosti membrane kako bi održale oblik i čvrstoću.



Slika 3. Primjer pneumatske konstrukcije

Pneumatske konstrukcije, također su poznate kao strukture od tkanine ili 'mjehurići'. Ove konstrukcije često su oblikovane kao ovali, polusfere i polucilindri, što omogućuje učinkovitu upotrebu materijala kako bi se povećao unutrašnji prostor. Usvajanjem zakrivljenih oblika, pneumatske konstrukcije ravnomjerno raspoređuju sile, smanjujući potrebu za dodatnim potpornim elementima poput stupova ili nosača. Ova značajka omogućuje stvaranje velikih unutarnjih prostora bez stupova, čineći ih idealnim za sportske dvorane, izložbene dvorane i mjesta održavanja raznih događaja. Lagana konstrukcija značajno smanjuje potrošnju materijala i troškove izgradnje u usporedbi s tradicionalnim krutim građevinama. Kao rezultat toga, pneumatske konstrukcije često su građene za privremene ili polutrajne primjene [2].

2.1. Temeljna podjela

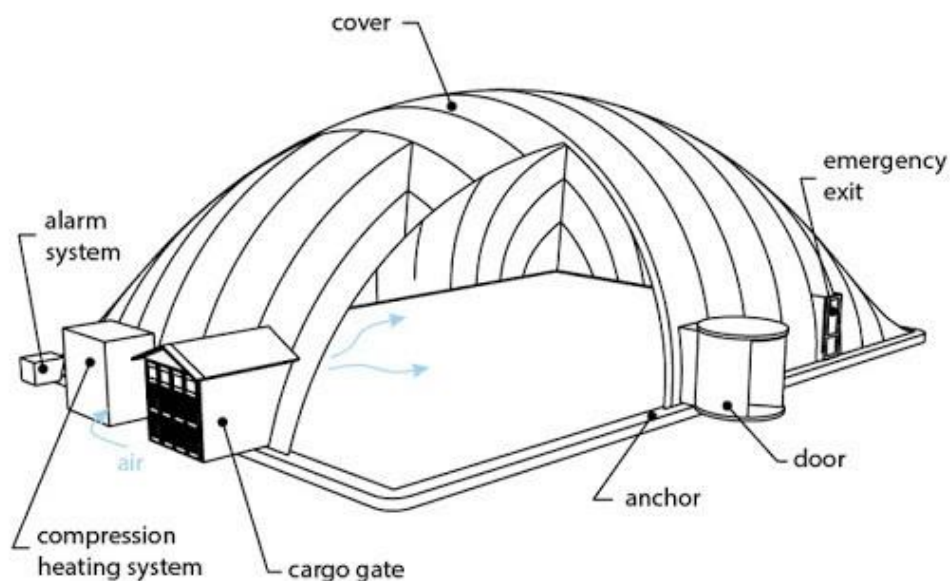
Postoje različite tipovi pneumatskih sustava, a najčešće klasifikacije su napravljene prema vrsti pritiska i njihovim morfološkim svojstvima. Najrazvijeniji sustavi stabilizirani su pozitivnim pritiskom (potpomognuti zrakom i napuhani), dok su sustavi s negativnim tlakom (vakuumski sustavi) još uvijek u razdoblju istraživanja [5].

Tablica 1. Podjela membrana prema razini tlaka

Potpomognute membrane	200-300 Pa
Membrane napuhane pod niskim tlakom	200-300 Pa
Membrane napuhane pod visokim tlakom	Do 100.000 Pa

2.1.1 Potpomognute membrane

Pneumatske konstrukcije podupirane zrakom imaju unutarnji tlak zraka viši od atmosferskog tlaka, što osigurava potporu ovojnici. U ovim strukturama, unutarnji tlak zraka održava napuhivanje tkanine i zadržava željeni oblik. Kako bi se povećala stabilnost, koristi se mreža kablova za ojačanje tkanine.



Slika 4. Komponente potpomognute pneumatske konstrukcije

Životni vijek pneumatskih konstrukcija potpomognutih zrakom obično iznosi od 20 do 25 godina, što ih čini relativno trajnima. Dodatno, troškovi ovih konstrukcija su relativno niski. Unutarnji tlak u pneumatskim konstrukcijama održava se iznad normalnog atmosferskog tlaka uz pomoć kompresora ili ventilatora. Također, potrebno je osigurati zračne brane kako bi se spriječio gubitak unutarnjeg zračnog tlaka [6].



Slika 5. Das Kuchenmonument

Primjeri potpomognutih membrana su najčešći, primjerice, uključuju koncertnu dvoranu Ark Nova i Das Kuchenmonument, mobilnu limenu skulpturu s punjenjem zrakom, koja služi i kao vjetrobran (airlock). Ove inovativne strukture koriste pneumatske membrane za stvaranje prostranih i prilagodljivih unutarnjih prostora.



Slika 6. Ark Nova

Pojava trenda "glampinga" (luksuznog kampiranja) također je doprinijela popularizaciji pneumatskih konstrukcija, posebno u rješavanju smještaja u prirodi, kao što je primjer

Casa Bubble Frédérica Richarda i Pierre Stéphana Dumasa. Hotelske sobe, koje se nalaze u divljini, predstavljaju kućice koje dolaze u nekoliko varijanti, uključujući prozirne ili djelomično prozirne, ovisno o potrebama privatnosti i zaštite od elemenata okoline.

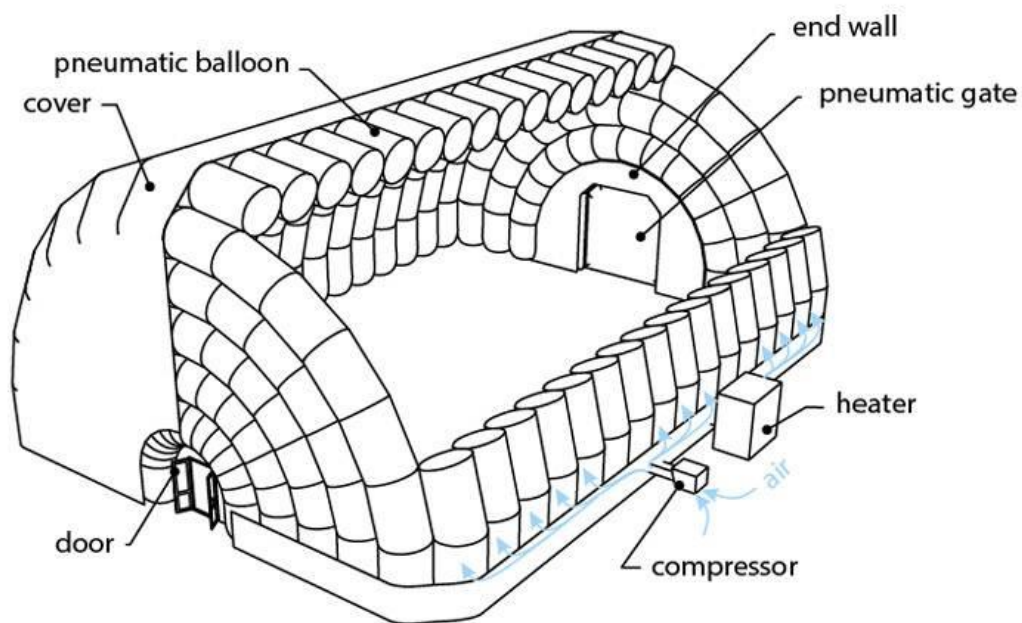


Slika 7. Casa Bubble

Sastoje se od dvije prostorije: glavne sobe, većeg prostora za boravak, i zračne pretkomore (airlock) kroz koju se ulazi u sobu. Zračna pretkomora ima sustav dvostrukih vrata koji sprječava nagli gubitak zraka iz prostora. Ovo je ključna karakteristika ovog tipa konstrukcija - posebno oblikovan ulaz koji sprječava gubitak zraka koji održava konstrukciju stabilnom [1]

2.1.2. Napuhane membrane

Napuhane zračne konstrukcije podržane su zahvaljujući pritisku zraka koji se nalazi unutar napuhanih građevinskih elemenata. Ove konstrukcije dolaze u različitim oblicima, dizajniranim da preuzmu opterećenja. Za razliku od konstrukcija koje koriste zrak za potporu cijele ovojnice, kod napuhanih zračnih konstrukcija, visokotlačni zrak ispunjava samo potporne elemente pneumatske strukture. Unutarnji pritisak napuhanog zračnog elementa konstrukcije ostaje na atmosferskom tlaku. Ovakav dizajn omogućuje stabilnu i svestranu konstrukciju koja se može koristiti u različite svrhe [6].



Slika 8. Komponente napuhanih pneumatskih konstrukcija

Potpomognuti zračni sustavi koriste jedinstvene membrane koje okružuju prostor za boravak, napuhani sustavi se temelje na zatvorenim strukturama s različitim brojem slojeva, čiji je unutarnji prostor pod pritiskom i nepristupačan. Iako su potpomognuti zračni sustavi doživjeli važan razvoj šezdesetih i sedamdesetih godina, napuhani sustavi su se više unaprijedili tijekom posljednjeg desetljeća, omogućavajući nove održive strategije u prilagodljivim klimatskim ovojnicama [6].



Slika 9. Kućica za čaj

Primjer drugog tipa pneumatskih konstrukcija, odnosno napuhanih konstrukcija pod tlakom, je Kućica za čaj Kenga Kume. Ovaj projekt izveden je za Muzej suvremene umjetnosti u Frankfurtu 2007. godine. Kućica je dvoslojna membrana pod tlakom, pri čemu je zrak u njezinom interijeru na normalnom atmosferskom tlaku. Površina kućice iznosi oko 20 m², a za grijanje se koristi topli zrak uz pomoć dvostruke membrane koja djeluje kao radijator.

Još jedan od primjera je, konstrukcija Air Forest dužine od 56,3 m, širine od 25 m i visine od 4 m. Konstrukcija se sastoji od 35 stupova povezanih prečkama u 9 šesterokutnih polja. Na bazama stupova bili su postavljeni zemljani utezi, rasvjeta ili ventilatori za napuhavanje.



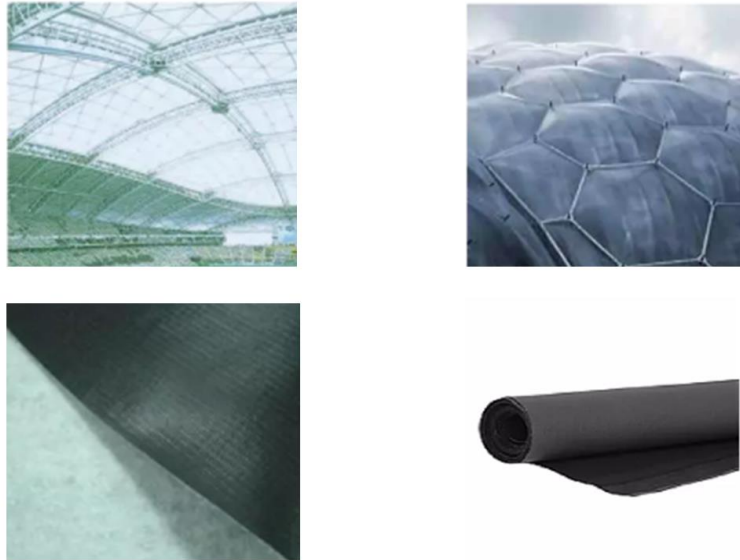
Slika 10. Air Forest

Air Forest je korištena tijekom jednog tjedna za razne društveno-umjetničke priredbe, kao i opću namjenu javnoga paviljona u gradskom parku u Denveru [1].

2.3. Komponente sustava

Pneumatske konstrukcije obično se sastoje od četiri komponente. Prva komponenta je tkanina membrane, koja je često izrađena od neke vrste premazanog sintetičkog materijala poput najlona, poliester, fiberglas (stakloplastika), ETFE... Etilen tetrafluoroetilen (ETFE) je plastika na bazi fluora, koja je često u primjeni zbog velike energetske učinkovitosti, prozirnosti i UV nepropusnosti. Još neke od prednosti su mala težina i mogućnost ponovne upotrebe. Membrana tkanine je tretirana za otpornost na vremenske uvjete i vatru te može biti ojačana mrežom kablova od čelika ili tkanine.

Unutrašnjost membrane može sadržavati neki oblik akustičkog materijala ili druge vrste zvučne izolacije [7].



Slika 11. Materijali za izradu pneumatskih konstrukcija

Druga komponenta su ventilatori i oprema koji osiguravaju pritisak zraka unutar strukture. Važan je i "Grijanje, ventilacija i klimatizacija" (HVAC) sustav koji se koristi za kontroliranje temperature, vlažnosti i kvalitete zraka unutar zatvorenih prostora kako bi se osigurao udoban i zdrav boravak. Uz to, postoji odgovarajući izvor hitne energije kako bi se održala prikladna razina pritiska i kontrolirala temperatura unutar zgrade.

Treća komponenta su pristupne točke ulaska/izlaska. Ovdje su potrebna vrata koja su odgovarajuće specificirana kako bi mogla podnijeti pritisak zraka unutar strukture.

Četvrta komponenta je hitna potpora koja se nalazi unutar strukture. Ova unutarnja struktura osigurava dovoljan prostor kako bi stanari mogli sigurno izaći iz zgrade u slučaju gubitka pritiska.

Dodatni napori za održavanje materijala na mjestu mogu uključivati korištenje utega, sidara i kablova [2].

2.4. Karakteristike

Pneumatske konstrukcije imaju nekoliko karakteristika koje ih čine posebnim. Prvo, ove konstrukcije su izuzetno lagane, što znači da su njihova težina i omjer težine prema površini na kojoj se nalaze vrlo mali. Druga karakteristika je njihov veliki raspon - nema teoretskog maksimalnog raspona za pneumatske konstrukcije, već raspon varira ovisno o potrebama i dizajnu.

Također, pneumatske konstrukcije su vrlo sigurne jer su otporne na vatru i pružaju stabilnost u usporedbi s konvencionalnim građevinskim konstrukcijama. Ove konstrukcije također omogućuju brzu montažu i demontažu, zbog čega su prikladne za izgradnju privremenih objekata.

Jedna od značajki koja čini pneumatske konstrukcije privlačnima je mogućnost osiguranja dobre prirodne osvjetljenosti i ventilacije unutar njih.

Fleksibilnost je još jedan važan aspekt pneumatskih konstrukcija. Zahvaljujući elastičnosti membrane, ove konstrukcije mogu poprimiti različite oblike i dimenzije, prilagođavajući se specifičnim zahtjevima projekta. To omogućuje arhitektima veću kreativnost i slobodu u dizajnu.

Pneumatske konstrukcije također su ekonomične u odnosu na tradicionalne metode. Montaža ovih struktura obično zahtijeva manje vremena i resursa, što može rezultirati smanjenim troškovima izgradnje. Također, ove konstrukcije su često privremene prirode, što znači da se mogu lako ukloniti i ponovno koristiti na drugom mjestu, što dodatno doprinosi njihovoj ekonomičnosti [6].

Unatoč mnogim prednostima, pneumatske konstrukcije također imaju svoje izazove. Jedan od glavnih izazova je povezan s održavanjem i trajnošću. Budući da se ove strukture drže pod pritiskom zraka, postoji potreba za redovitim provjerama i održavanjem kako bi se osigurala njihova dugoročna izdržljivost i sigurnost [8].

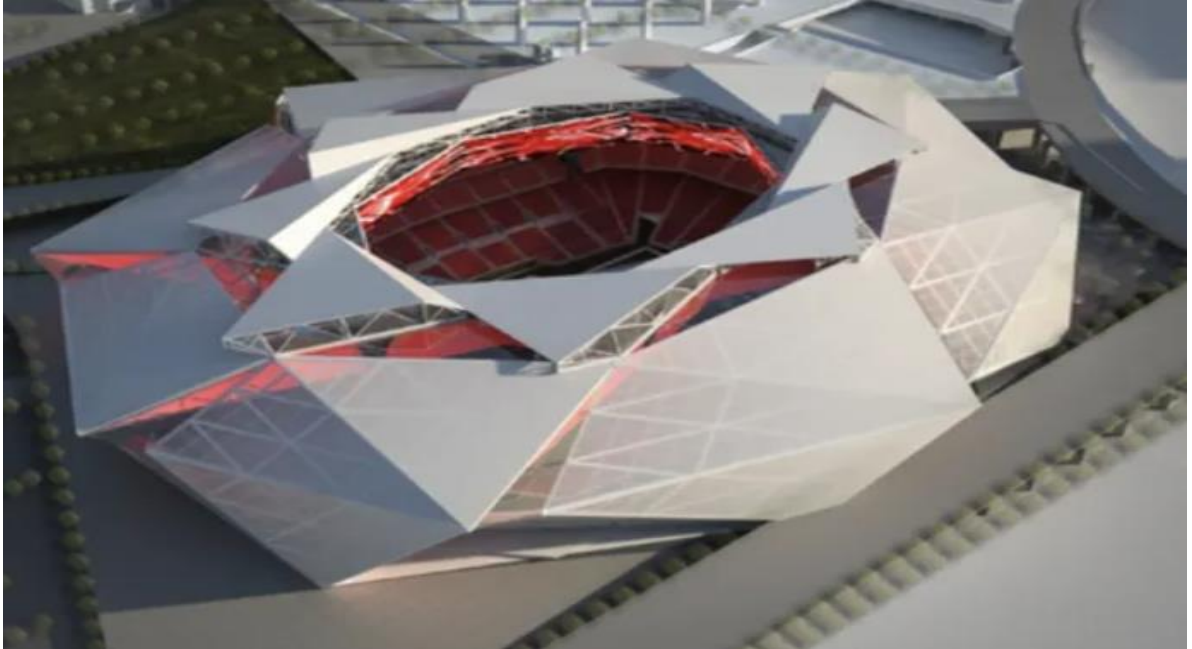
2.5. Primjena

Primjena pneumatskih konstrukcija je izuzetno raznolika. Ove strukture se koriste za privremene događaje poput festivala, sajмова, koncerata i sportskih manifestacija, gdje se brza postavka i rasklapanje smatraju ključnim. Također su popularne u izgradnji sportskih dvorana, kulturnih centara, privremenih skloništa u hitnim situacijama i vojnih kampova.

Uprkos izazovima, rastući interes za održivu gradnju i inovacije u građevinskom sektoru i dalje potiče istraživanja i razvoj novih materijala i tehnologija za unapređenje ove grane arhitekture. Pneumatske konstrukcije nastavljaju privlačiti pažnju arhitekata i inženjera kao održiva, ekološki prihvatljiva i energetska učinkovita opcija za moderne građevine.

3. KINEMATSKE KONSTRUKCIJE

Kinematska arhitektura je koncept koji uključuje projektiranje zgrada s elementima koji se mogu transformirati i kretati. To omogućuje promjenu oblika zgrade kako bi se zadovoljile potrebe ljudi koji je koriste i prilagodile se okolišnim uvjetima.



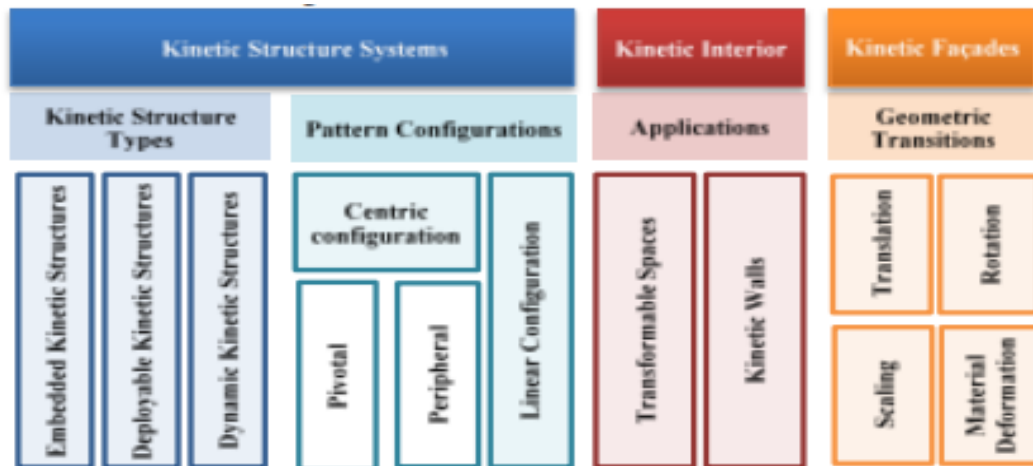
Slika 12. Primjer kinematske konstrukcije

Mogućnost pokretanja konstrukcije može se koristiti samo kako bi se: poboljšale estetske karakteristike; odgovorilo na okolišne uvjete; i/ili obavljale funkcije koje bi bile nemoguće za statičnu strukturu.

Mogućnosti za praktičnu primjenu kinematske arhitekture znatno su se povećale krajem 20. stoljeća zahvaljujući napretku u mehanici, elektronici i robotici [9].

3.1. Temeljna podjela

Postoje različite primjene kinematskih sustava u arhitekturi. Mogu se podijeliti u tri glavne kategorije: kinematski konstrukcijski sustavi, kinematski unutarnji elementi i kinematske fasade [9].



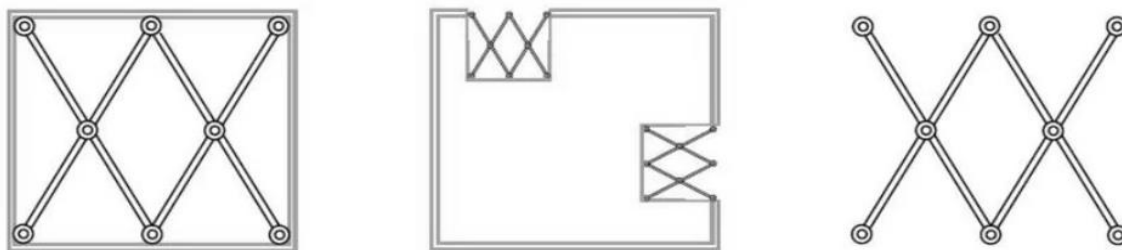
Slika 13. Podjela kinematskih sustava

3.1.1. Kinematski konstrukcijski sustavi

Kinematski konstrukcijski sustavi u arhitekturi predstavljaju inovativan i dinamičan pristup dizajnu zgrada i građevinskih elemenata. Koncipiranje kinematskih struktura zahtijeva kreativnost i tehničku vještinu kako bi se omogućila promjenjiva pokretljivost, prilagodba geometrije i mogućnost transformacije.

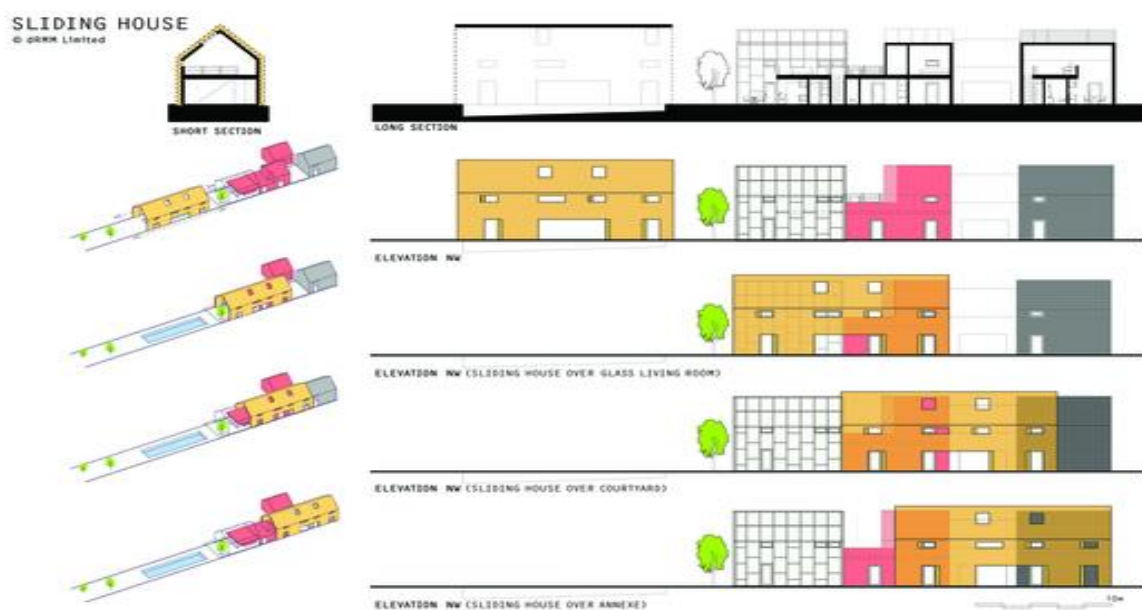
Ove strukture mogu biti preklapive, klizne ili se mogu mijenjati u veličini i obliku. Također, treba razmotriti različite načine postizanja pokreta, kao što su kemijski, magnetski, prirodni ili mehanički.

Kinematski sustavi strukture mogu se podijeliti u tri kategorije. Prvo, ugrađene kinematske strukture postoje unutar većeg arhitektonskog cjelovitog sustava na fiksnom mjestu i služe za kontrolu većih arhitektonskih sistema u skladu s promjenjivim čimbenicima. Drugo, preklapajuće kinematske strukture nalaze se na privremenim lokacijama i lako se prenose. Treće, dinamičke kinematske strukture postoje unutar većeg arhitektonskog cjelovitog sustava, ali imaju neovisnost u kontroli pojedinih dijelova, što uključuje male arhitektonske elemente poput vrata, prozora i pokretnih pregrada [9].



Slika 14. Podjela kinematskih konstrukcijskih sustava

Primjer kinematskih konstrukcijskih sustava je Sliding House britanske tvrtke dRMM, koji ima pokretne zidove i krov koji se mogu premještati kako bi prekrivali i otkrivali dijelove stambenog prostora.



Slika 15. Sliding House

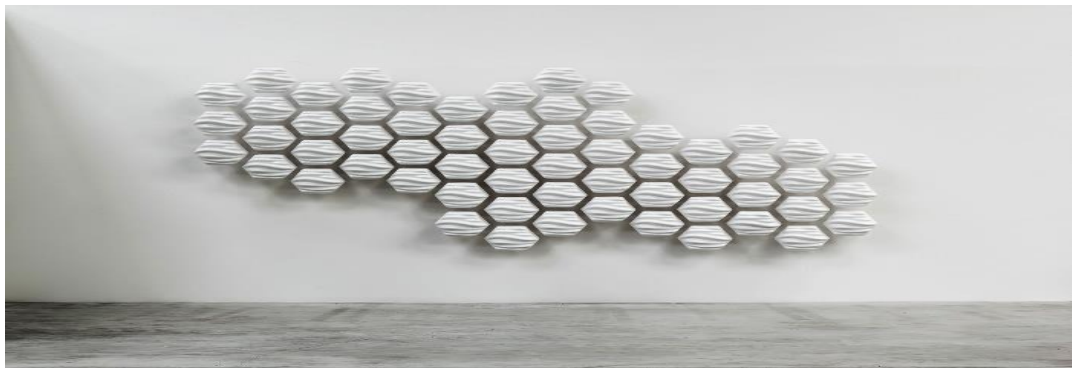
3.1.2. Kinematski unutarnji elementi

Primjena kinematske arhitekture u interijerima obuhvaća raznolike primjere, od transformirajućih prostora do kinematskih zidova. Transformabilni prostori uključuju primjere gdje arhitekti i dizajneri koriste različite mehanizme kako bi prostor mogao promijeniti svoj izgled ili se prilagoditi različitim potrebama i funkcijama. S druge strane, kinematski zidovi dizajnirani su tako da stvaraju dojam da reagiraju na akcije korisnika, a to se postiže pomoću niza povezanih elemenata koji se mogu pomicati i mijenjati oblik [9].



Slika 16. Primjeri kinematskih unutrašnjosti

Hexi Responsive Wall primjer je kinematskog zida. Sastoji se od 60 montiranih panela koji koriste tehnologiju praćenja pokreta kako bi interpretirali radnje osobe koja je blizu njih (hodanje - skakanje - mahanje rukom) . Ovaj inovativni projekt omogućuje da zid reagira na pokrete korisnika i prilagodi svoj izgled ili funkciju u skladu s tim akcijama [10].

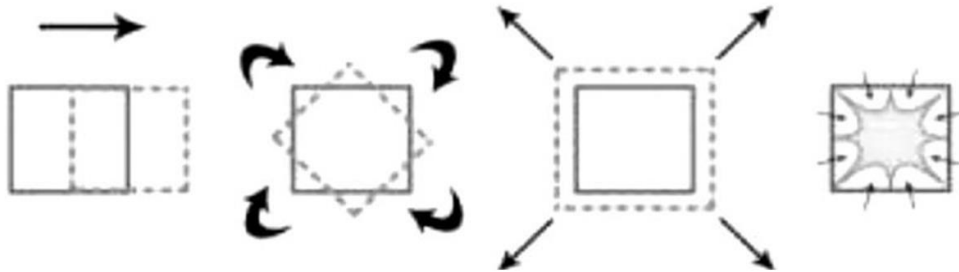


Slika 17. Hexi Responsive Wall

3.1.3. Kinematske fasade

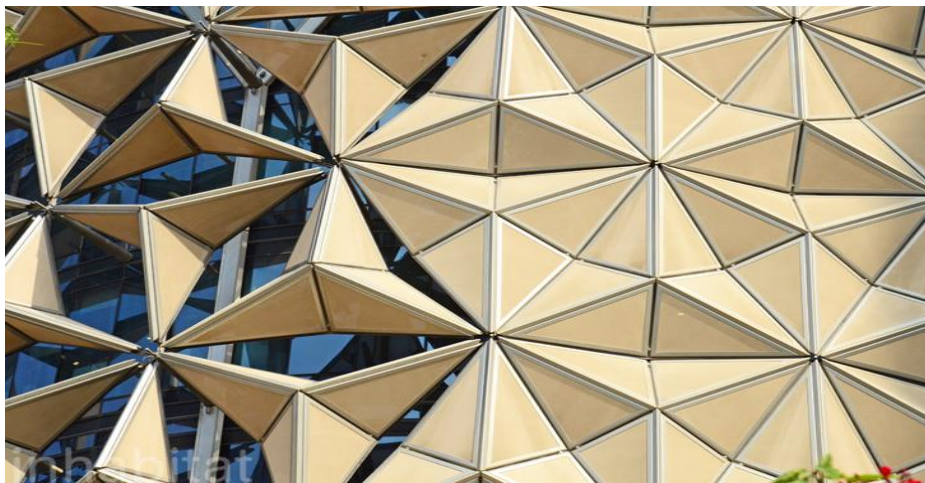
Kinematske fasade predstavljaju revolucionaran pristup arhitektonskom dizajnu. Umjesto tradicionalnih fiksnih struktura, kinetičke fasade koriste geometrijske transformacije i dinamičke elemente kako bi omogućile promjene u njihovoj strukturi i obliku. Ovaj inovativni koncept omogućuje zgradama da postanu aktivne i prilagodljive, reagirajući na različite uvjete i potrebe okoline. Uz estetsku vrijednost koju donose,

kinetički elementi također pružaju praktične prednosti, kao što je zaštita od promjenjivih vremenskih uvjeta. Kinematske fasade mogu se kretati u prostoru putem četiri vrste geometrijskih tranzicija: translacija, rotacija i pokretanje putem deformacije materijala [10].



Slika 18. Geometrijske tranzicije kinematskih fasada

Al Bahar Towers u Abu Dhabiju predstavlja primjer kinetičke fasade, zgrada ima jedinstvenu kinetičku fasadu inspiriranu tradicionalnim stilom, koji potječe iz arapske arhitekture.



Slika 19. Fasada Al Bahar Towers

Ono što ovu fasadu čini posebnom je njezina sposobnost da se mijenja i prilagođava tijekom cijele godine. Fasadni elementi, koji se protežu oko cijele zgrade, reagiraju na promjenjive kutove sunčeve svjetlosti tijekom različitih godišnjih doba. Kako se Sunce mijenja u svojoj putanji na nebu, kinetička fasada se pomiče i preoblikuje, kontrolirajući količinu sunčeve svjetlosti i topline koja ulazi u zgradu.

Ova inovativna kinetička tehnologija omogućuje zgradi da diše i prilagođava se okolini. Kroz promjene u obliku fasade, zgrada osigurava optimalnu razinu unutarnje udobnosti za svoje stanare i korisnike. Istovremeno, kinematska fasada pruža prekrasan estetski doživljaj, stvarajući fascinantnu igru svjetlosti i sjene na površini zgrade [9].

3.2. Karakteristike

Kinematička arhitektura donosi brojne prednosti koje omogućuju arhitektima razvijanje inovativnih i funkcionalnih rješenja prilagođenih dinamičnim ljudskim potrebama i okolišnim uvjetima. Kroz kreativno korištenje pokretnih elemenata, kinetička arhitektura omogućuje zgradama da postanu žive i interaktivne strukture koje se prilagođavaju promjenjivim aktivnostima svoje okoline. Ova konceptualna revolucija omogućuje arhitektima istraživanje dosad neistraženih mogućnosti i stvaranje jedinstvenih arhitektonskih djela.

Jedna od glavnih prednosti kinematičke arhitekture je stvaranje optimalne unutarnje klime u zgradama. Korištenjem kinematičke fasade, zgrada postaje sposobna kontrolirati svoju vanjsku klimu, uključujući toplinu i vjetar. Pokretna fasada omogućuje prilagodbu prema vanjskim klimatskim uvjetima, što smanjuje potrebu za umjetnom energijom za postizanje unutarnje udobnosti.

Još jedna značajna prednost je mogućnost stvaranja pametnih ovojnica zgrada. Kinematički elementi interagiraju s vanjskim okolišem otvaranjem i zatvaranjem ovisno o promjenjivim uvjetima poput dnevnog svjetla, temperature, vjetra i svježine zraka. Ova interakcija s okolinom doprinosi energetske učinkovitosti zgrade i smanjenju njenog utjecaja na okoliš.

Kinematička arhitektura također omogućuje transformaciju statičnih zgrada u žive, dinamične strukture. Pomoću pokretnih elemenata kao što su pomični krovovi, zgrade mogu se prilagoditi različitim potrebama i aktivnostima koje se u njima odvijaju. To omogućuje stvaranje fleksibilnih prostora koji se mogu prilagoditi različitim funkcijama i događajima [10].

Konačno, kinetička arhitektura donosi i financijske prednosti. Pametne kinetičke fasade smanjuju potrošnju energije zgrade, što rezultira uštedama na troškovima grijanja i hlađenja. Također, poboljšana kvaliteta unutarnjeg zraka pridonosi zdravlju stanovnika i povećava njihovu produktivnost.

Sveukupno, kinetička arhitektura otvara neograničene mogućnosti za stvaranje funkcionalnih, estetski privlačnih i održivih građevina koje se prilagođavaju potrebama i zahtjevima svog okoliša i korisnika. Ovaj inovativni koncept mijenja način na koji doživljavamo zgrade i otvara put prema arhitekturi budućnosti [11].

3.3. Primjena

Kinematičke konstrukcije u arhitekturi donose mnoge prednosti: prilagodljivost zgradama prema promjenjivim okolišnim uvjetima, stvaranje dinamičkih prostora, estetsku privlačnost, veću funkcionalnost i energetska učinkovitost. Ovakvi inovativni elementi postaju sve popularniji jer omogućuju interaktivne zgrade prilagođene potrebama korisnika i održivim standardima budućnosti. Stoga ova vrsta konstrukcija pogodna za izradu stadiona, javnih trgova, galerija kulturnih centara [11].

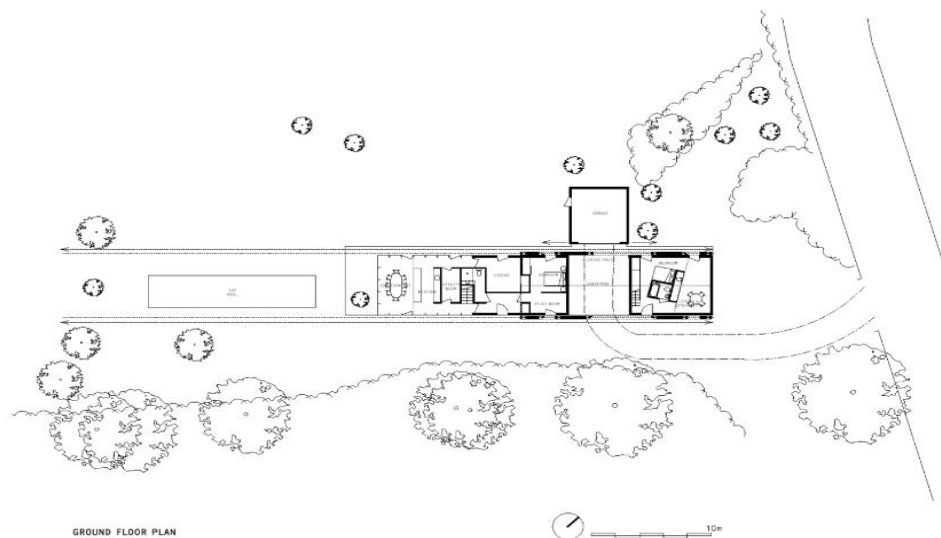
4. IZVEDENI PRIMJERI

4.1. Sliding House

Sliding House je inovativna kuća projektirana od strane britanske arhitektonske tvrtke dRMM (de Rijke Marsh Morgan Architects). Kuća se nalazi u Engleskoj, u okrugu Suffolk, i izgrađena je 2009. godine[12].

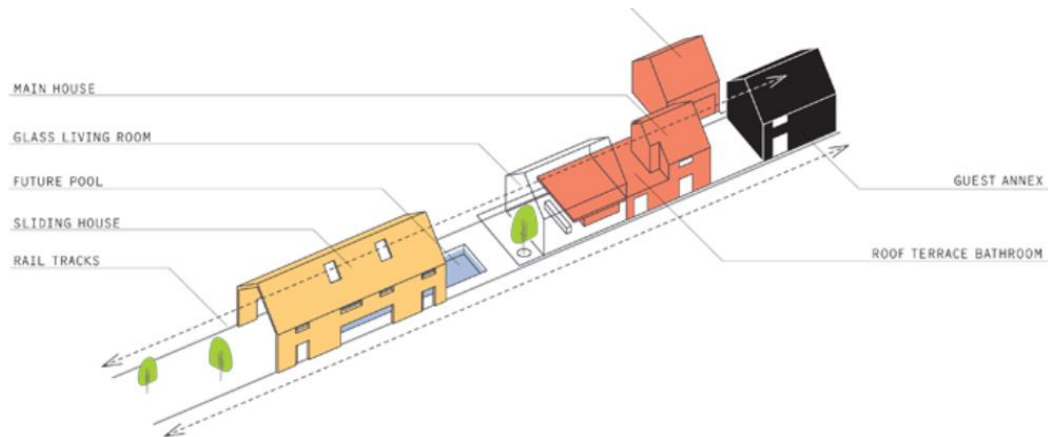


Slika 20. Sliding House



Slika 21. Tlocrt Sliding House

Njena osnovna značajka je vanjska drvena obloga koja se može pomicati duž metalnih tračnica, omogućujući kući da se potpuno zatvori ili otvori prema potrebi, prilagođavajući se okolišnim uvjetima i promjeni izgleda kuće. Mobilni element koji se proteže 28 metara i teži 50 tona kreće se duž tračnica postavljenih u tlo, pružajući inovativno rješenje za transport teških ili velikih objekata.



Slika 22. Konstrukcija krova Sliding House

Osim svoje funkcionalnosti, Sliding House također je poznat po svojem estetski privlačnom dizajnu i jedinstvenom pristupu arhitekturi. Kuća je izgrađena s obzirom na okoliš, koristeći održive materijale i tehnologije, a također je i energetska učinkovita [13].

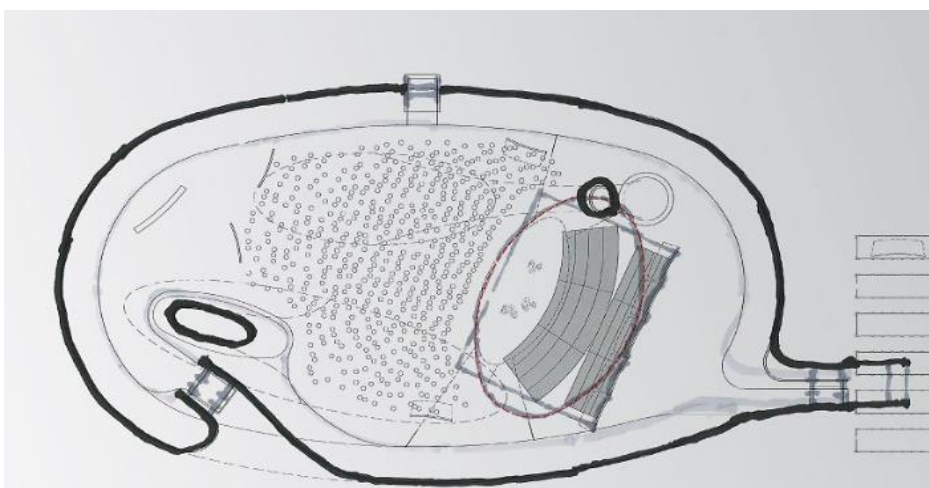
4.2 Ark Nova

Ark Nova je mobilna koncertna dvorana i umjetnički projekt koji je izgrađen 2013. godine kao odgovor na potrebu za pružanjem kulturnih događanja i umjetničkih iskustava u područjima pogođenim prirodnim katastrofama, posebno nakon potresa i tsunamija u Japanu 2011. godine. Projekt je rezultat suradnje između japanske umjetničke organizacije "Lucerne Festival" i arhitekta Arata Isozakija [14].



Slika 23. Ark Nova

Ark Nova je primjer napuhane pneumatske konstrukcije s unutarnjim prostorom koji se može brzo postaviti na različitim mjestima. Konstrukcija se sastoji od PVC poliesterske membrane od oko 2000 m². Debljina joj je 0,63 mm, a težina 1700 kg. Kad je napuhana, dvorana ima zapreminu od preko 9000 m³. Maksimalno se širi na 29 metara širine, 36 metara duljine i 18 metara visine. Unutrašnjost nudi prostor od 680 m² za veliku pozornicu i oko 500 sjedala u fleksibilnom rasporedu. Oblik toroida zgrade okreće se prema unutra, stvarajući dijagonalnu cijev preko unutarnjeg prostora. S vanjske strane to pruža pogled kroz zgradu prema nebu.



Slika 24. Tlocrt Ark Nove

Glavna svrha mu je omogućiti izvođenje glazbenih koncerata, izložbi i drugih umjetničkih događanja kako bi se podigla svijest i pružila podrška zajednicama koje su pretrpjele prirodne katastrofe. Projekt je putovao po različitim dijelovima Japana i drugim zemljama kako bi pružio umjetničke doživljaje i podršku tim zajednicama [15].



Slika 25. Unutrašnji prostor Ark Nove

Ark Nova se ističe svojom mobilnošću i sposobnošću prilagodbe različitim potrebama i veličinama publike, čineći ga izvanrednim primjerom kako umjetnost i kultura mogu doprinijeti obnovi i duhovnom oporavku zajednica u teškim vremenima.

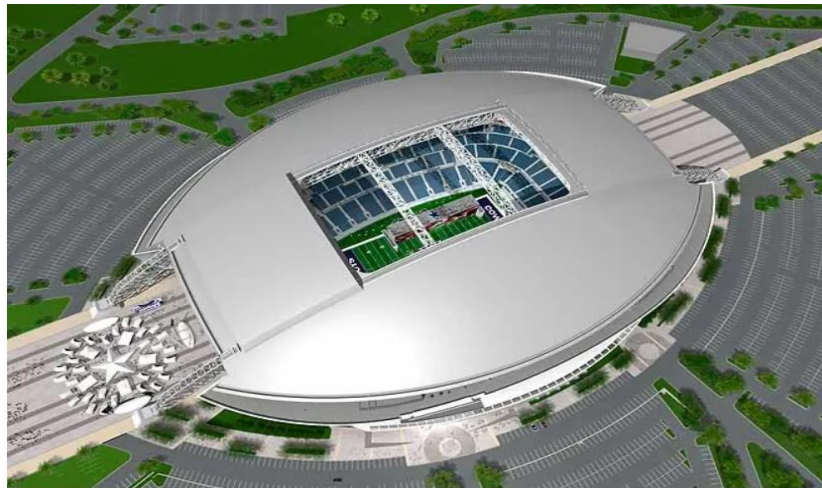
4.3. AT&T stadion

AT&T stadion, poznat po svom modernom i inovativnom dizajnu, jedan je od najprepoznatljivijih sportskih stadiona u Sjedinjenim Američkim Državama. Izgrađen je u razdoblju od 2006. do 2009. godine i službeno je otvoren 6. rujna 2009. godine. Arhitektonska tvrtka HKS Architects projektirala je stadion, a njen rad donio je stadionu prepoznatljiv dizajn i funkcionalnost, uključujući pokretnu krovnu konstrukciju [16].



Slika 26. Presjek konstrukcije AT&T stadiona

Krov stadiona sastoji se od dviju o ploča koje se mogu otvarati i zatvarati. Ove ploče su izrađene od čelika i plastike, a pokrivene su posebnim membranskim materijalom koji omogućuje zaštitu od vremenskih uvjeta. Krov se sastoji od dva monumentalna luka koja se uzdižu 292 metra iznad igrališta i podržavaju pokretni krov. Svaki od tih lukova je dug 373 metra i težak 3255 tona. Krov se može zatvoriti ili otvoriti za samo 12 minuta, što omogućuje brze promjene u odnosu na vremenske uvjete ili vrstu događaja koji se održava [17].



Slika 27. Prikaz otvorene krovne konstrukcije AT&T stadiona

AT&T stadion predstavlja izvrsno tehničko dostignuće u svijetu sportske arhitekture, kombinirajući impresivnu povlačivu krovnu konstrukciju s vrhunskim materijalima kako bi stvorio jedinstveno sportsko iskustvo za gledatelje i sudionike događaja

5. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju smo naglasili ključne karakteristike i prednosti kinematskih i pneumatskih konstrukcija kao inovativnih pristupa u građevinskoj industriji. Suočeni s zahtjevima suvremene građevinske industrije koji postavljaju visoke standarde učinkovitosti, kvalitete, brzine i prilagodljivosti, analizom ovih konstrukcijskih pristupa smo nedvojbeno potvrdili njihovu sposobnost da se uspješno suoče s tim izazovima.

Kroz dubinsku analizu povijesti, razvoja i praktičnih primjera kinematskih i pneumatskih konstrukcija, jasno smo ukazali da ovi pristupi ne samo da ispunjavaju zahtjeve suvremenog vremena, već također donose revolucionarne promjene u načinu na koji gradimo. Pneumatske konstrukcije, zbog svoje sposobnosti nosivosti bez potrebe za masivnim potpornim strukturama, otvaraju vrata novim arhitektonskim mogućnostima. S druge strane, kinematske konstrukcije ističu se prilagodljivošću oblika kako bi zadovoljile potrebe korisnika, podcrtavajući tako ulogu arhitekture u stvaranju prostora koji odgovara ljudskim potrebama.

Očito je da raste interes za inovacijama u građevinskoj industriji, što potiče istraživanje novih materijala i tehnologija. Naša sveobuhvatna analiza produbila je razumijevanje potencijala kinematskih i pneumatskih konstrukcija u suvremenoj arhitekturi, potvrđujući njihovu ključnu ulogu u postizanju efikasnosti, inovacija i visokih standarda kvalitete.

Zaključno, ovaj rad neosporno potvrđuje da su kinematske i pneumatske konstrukcije od suštinskog značaja za suvremenu građevinsku industriju. Njihova sposobnost da mijenjaju pristup gradnji i da zadovoljavaju te nadilaze zahtjeve modernog društva čini ih nezaobilaznim dijelom arhitekture budućnosti. Kroz daljnje istraživanje i primjenu ovih inovativnih pristupa, doprinosit ćemo neprestanom razvoju građevinske industrije, stvarajući tako prostor za trajnost, funkcionalnost i estetiku u skladu s izazovima današnjice i budućnosti.

6.LITERATURA

1. D. Andrić, *Prostor*, Zagreb, 28 (2020), 3-6.
2. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Air-supported_structure, 13.8.2023.
3. C. Salter, *Entangled: Technology and the Transformation of Performance*. MIT Press, London, 2011. 81–112.
4. S. Verma, <https://www.novatr.com/blog/kinetic-architecture-guide>, 13.8.2023
5. A. Gómez-González, J. Neila, J. Monjob, *SciVerse ScienceDirect*, Madrid, 21 (2011), 126-128.
6. M. L. Deloney, <https://civiljungle.com/pneumatic-structures/>, 18.8.2023.
7. A. Matthew, <https://www.slideshare.net/akashmatthew/pneumatic-structures-69205352>, 20.8.2023.
8. <https://www.slideshare.net/Krishnagmr/pneumatic-structures-55250260>, 20.8.2023.
9. A. Elmokadem, M. Ekram, A. Waseef, B. Nashaat, *International Journal of Science and Research*, Egipt, (2017), 754-756.
10. S. Verma, <https://www.novatr.com/blog/kinetic-architecture-guide#2>, 21.8.2023.
11. G. Henry, J. Janardhanan, https://www.slideshare.net/gracehenry142/pneumatic-kinetic-and-mobile-structures?from_search=1, 21.8.2023
12. R. Etherington, <https://www.dezeen.com/2009/01/19/sliding-house-by-drm-2/>, 12.9.2023.
13. <https://drmmstudio.com/project/sliding-house/>, 12.9.2023.
14. A. Frearson, <https://www.dezeen.com/2013/09/26/ark-nova-by-arata-isozaki-and-anish-kapoor-completes/>, 12.9.2023.
15. <https://www.aerotrope.com/what-we-do/art/ark-nova.html>, 12.9.2023.

16. https://www.concreteconstruction.net/projects/dallas-cowboys-stadium_o,
12.9.2023
17. <https://www.archdaily.com/37803/dallas-cowboys-stadium>, 12.9.2023.

7. PRILOZI

Slika 1. Razvoj pneumatskih konstrukcija kroz povijest.....	2
(https://www.slideshare.net/Krishnagmr/pneumatic-structures-55250260 , 13.8.2023.)	
Slika 2. Razvoj kinematskih konstrukcija kroz povijest	3
(https://www.semanticscholar.org/paper/Kinetic-Architecture-%3A-Concepts-%2C-History-and-Elmokadem-Ekram/694877778c4e673525d574ff5ce9f0a520bf8f50 , 13.08.2023)	
Slika 3. Primjer pneumatske konstrukcije	4
(https://en.wikipedia.org/wiki/Air-supported_structure , 13.08.2023)	
Slika 4. Komponente potpomognute pneumatske konstrukcije.....	5
(https://civiljungle.com/pneumatic-structures/ , 13.08.2023)	
Slika 5. Das Kuchenmonument.....	6
(https://raumlabor.net/kuchenmonument/ , 13.08.2023)	
Slika 6. Ark Nova.....	6
(https://www.lucernefestival.ch/de/magazin/opening-ark-nova-in-tokyo/146 , 13.08.2023.)	
Slika 7. Casa Bubble	7
(https://www.e-architect.com/concept/casa-bubble , 13.08.2023.)	
Slika 8. Komponente napuhanih pneumatskih konstrukcija.....	8
(https://www.made-tent.com/product/en/list/Large-Inflatable-Structures-1.html , 13.08.2023.)	
Slika 9. Kućica za čaj	8
(https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=4399 , 13.08.2023.)	
Slika 10. Air Forest	9
(https://www.archdaily.com/22847/air-forest-mass-studies , 13.08.2023.)	
Slika 11. Materijali za izradu pneumatskih konstrukcija	10
(https://www.slideshare.net/akashmatthew/pneumatic-structures-69205352 , 13.08.2023.)	
Slika 12. Primjer kinematske konstrukcije	13
(https://www.semanticscholar.org/paper/Kinetic-Architecture-%3A-Concepts-%2C-History-and-Elmokadem-Ekram/694877778c4e673525d574ff5ce9f0a520bf8f50 , 14.08.2023.)	
Slika 13. Podjela kinematskih sustava	14
(https://www.semanticscholar.org/paper/Kinetic-Architecture-%3A-Concepts-%2C-History-	

and-Elmokadem-Ekram/694877778c4e673525d574ff5ce9f0a520bf8f50/figure/14) 14.08.2023.)

Slika 14. Podjela kinematskih konstrukcijskih sustava 15
 (<https://www.semanticscholar.org/paper/Kinetic-Architecture-%3A-Concepts-%2C-History-and-Elmokadem-Ekram/694877778c4e673525d574ff5ce9f0a520bf8f50/figure/14>, 14.08.2023.)

Slika 15. Sliding House 15
 (<https://www.pinterest.co.uk/pin/sliding-house-design-therapy--649362840018112567/>, 14.08.2023.)

Slika 16. Primjeri kinematskih unutrašnjosti 16
 (https://www.researchgate.net/publication/331802807_Licensed_Under_Creative_Commons_Attribution_CC_BY_Kinetic_Architecture_Concepts_History_and_Applications), 14.08.2023.)

Slika 17. Hexi Responsive Wall 16
 (<https://archello.com/product/hexi-responsive-wall>, 20.8.2023.)

Slika 18. Geometrijske tranzicije kinematskih fasada 17
 (<https://www.semanticscholar.org/paper/Kinetic-Architecture-%3A-Concepts-%2C-History-and-Elmokadem-Ekram/694877778c4e673525d574ff5ce9f0a520bf8f50/figure/21>, 20.8.2023.)

Slika 19. Fasada Al Bahar Towers 17
 (<https://inhabitat.com/exclusive-photos-worlds-largest-computerized-facade-cools-aedas-al-bahr-towers/al-bahar-towers-28/>, 20.8.2023)

Slika 20. Sliding House 20
 (<https://drmmstudio.com/project/sliding-house/>, 12.9.2023)

Slika 21. Tlocrt Sliding House 20
 (<https://drmmstudio.com/project/sliding-house/>, 12.9.2023)

Slika 22. Konstrukcija krova Sliding House 21
 (<https://drmmstudio.com/project/sliding-house/12.9.2023.>)

Slika 23. Ark Nova 22
 (<https://www.morethangreen.es/en/ark-nova-by-arata-isozaki-anish Kapoor/>, 12.9.2023)

Slika 24. Tlocrt Ark Nove 22
 (<https://www.morethangreen.es/en/ark-nova-by-arata-isozaki-anish Kapoor/>, 12.9.2023)

Slika 25. Unutrašnji prostor Ark Nove 23
 (<https://www.morethangreen.es/en/ark-nova-by-arata-isozaki-anish Kapoor/>, 12.9.2023)

Slika 26. Presjek konstrukcije AT&T stadiona 23
 (https://www.archdaily.com/37803/dallas-cowboys-stadium/09720_020?next_project=no, 12.9.2023.)

Slika 27. Prikaz otvorene krovne konstrukcije AT&T stadiona24

(<https://www.si.com/uncategorized/2006/12/13/13-2dallas-cowboys-new-stadium#gid=ci0255c92ed02b24a5&pid=insidejpg>, 12.9.2023.)