

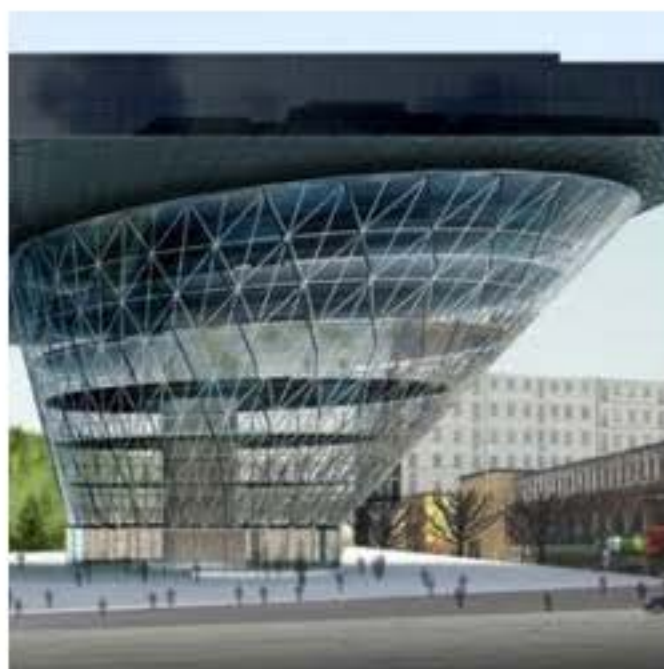
Načrtovanje gradbenih objektov ima zelo dolgo tradicijo, saj prve 2D skice segajo že v čas starega Egipta. Vloga risbe se je skozi čas spreminjala in bolj ali manj ohranjala osrednjo vlogo pri posredovanju informaciji med načrtovalci in graditelji. Z razvojem računalništva in informacijskih tehnologij se je korenito spremenilo oblikovanje, načrtovanje in posredovanje informacij. Začetki računalniško podprtega načrtovanja segajo v šestdeseta leta prejšnjega stoletja, dve desetletji kasneje pa računalniško podprto načrtovanje postane vsesplošno uporabljeni način, ki je v principu zamenjal risalno desko. Takšen način načrtovanja ima sicer mnoge prednosti v primerjavi z načrtovanjem na risalni deski, vprašanje pa je ali omogoča načrtovanje najsodobnejših zgradb.

V zadnjih desetletjih se je kompleksnost sodobnih zgradb v vseh pogledih bistveno povečala. Z arhitekturno zapletenimi oblikami so se namreč povečali tudi konstrukcijski problemi. V zadnjih desetletjih smo pričali tudi razvoju inteligentnih zgradb, ki zahtevajo ustrezno elektro, strojno in informacijsko telekomunikacijsko infrastrukturo, integrirano v skupno celoto, ki zagotavlja enovito delovanje zgradbe. Dejstvo je, da upoštevanje različnih kulturno-socioloških in tehnoloških zahtev sodobnih zgradb presega meje, ki bi jih lahko obvladoval posameznik brez ustrezne računalniške in informacijske podpore. Tudi optimalna izvedba takšnih zgradb ni več mogoča brez izvedenih ustreznih simulacij in analiz. Iskanje optimalnih rešitev, ki upoštevajo različne vidike, tako presega vlogo, ki jo zagotavljajo 2D načrti. Ključnega pomena pri zagotavljanju in iskanju optimalnih rešitev ima vsekakor ustrezna informacijska infrastruktura zgradbe, ki ji pravimo tudi informacijski model objekta (*ang. Building Information Model - BIM*), načinu načrtovanja, ki vzpostavlja informacijski model objekta pa informacijsko modeliranje objekta (*ang. Building Information Modeling - BIM*).



## Uvod v BIM

Peter Podbreznik & Nenad Čuš Babič



## Parametrično modeliranje

Peter Podbreznik & Nenad Čuš Babič



## Sodelovanje znotraj projektne pisarne

Peter Podbreznik & Nenad Čuš Babič



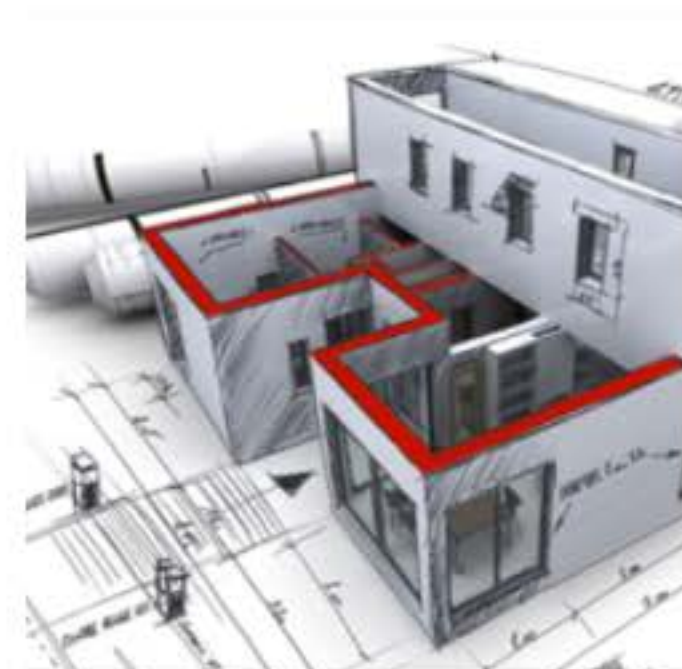
## Sodelovanje med projektnimi partnerji

Peter Podbreznik & Nenad Čuš Babič



## Računalniška vizualizacija

Peter Podbreznik & Nenad Čuš Babič



## Gradbena dokumentacija

Peter Podbreznik & Nenad Čuš Babič



Zapiski predavanj pri predmetu Informacijski modeli gradbenih objektov vsebujejo šest poglavji, ki sistematično podajajo vsebine in omogočajo razumevanje koncepta načrtovanja, imenovanega informacijsko modeliranje objektov. V uvodnem poglavju, tj. [Uvod v BIM](#), je opisan razvoj načrtovanja od 2D skic, pa vse do informacijskih modelov objektov, ter prednosti in omejitve posameznih konceptov. Vsebina naslednjega poglavja, tj. [Parametrično modeliranje](#), je osredotočena na koncept parametričnega modeliranja z uporabo gradnikov ali inteligentnih komponent, katerih lastnosti je mogoče določiti s spremembo parametrov. Dodatno gradniki vsebujejo tudi definicije omejitev, katerih vsebina običajno izhaja iz pravil grajenja. Prav zaradi omenjenih lastnosti gradnikov, se v procesu načrtovanja ni potrebno ukvarjati s tehnološkimi pravili, ampak se lahko načrtovalci bolje osredotočijo na vsebino. Zgradbe velikega obsega običajno ne načrtuje ena sama oseba, ampak to počne skupina ljudi. Uspeh skupinskega načrtovanja je veliki meri odvisen od stopnje njihovega medsebojnega sodelovanja. V poglavju [Sodelovanje znotraj projektne pisarne](#) so opisani načini sodelovanja in zahteve za ustrezno informacijsko infrastrukturo za doseganje višje stopnje sodelovanja med člani projektne skupine. Podobno kot sodelovanje znotraj projektne skupine, je potrebno vzpostaviti tudi sodelovanje med projektnimi partnerji, kar je opisano v poglavju [Sodelovanje med projektnimi partnerji](#). Pomemben aspekt v fazi načrtovanja je tudi [računalniška vizualizacija](#), ki omogoča bolj natančen, običajno foto realističen, prikaz zgradbe. Tako je mogoče že v fazi načrtovanja uskladiti vizualne in estetske zahteve naročnika z različnimi zahtevami, ki jih določajo pravila grajenja. Zadnje poglavje pa opisuje način avtomatizirane priprave [gradbene dokumentacije](#) iz informacijskega modela objekta, ki je ključnega pomena pri pridobivanju potrebnih gradbenih dovoljenj in za vzdrževanje zgradbe v fazi obratovanja.



CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Univerzitetna knjižnica Maribor

624:004(075.8)

PODBREZNIK, Peter

Informacijski modeli gradbenih objektov  
[Elektronski vir] : zapiski predavanj / Peter  
Podbreznik, Nenad Čuš Babič. - Maribor :  
Fakulteta  
za gradbeništvo, 2013

Način dostopa (URL):

<https://sites.google.com/site/zapiskiimngo>

ISBN 978-961-248-409-5

1. Čuš Babič, Nenad

COBISS.SI-ID 75629057

ISBN 978-961-248-409-5

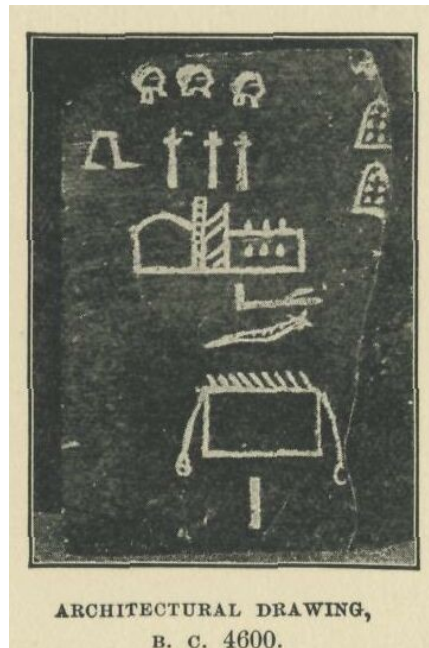


naslov	Informacijski modeli gradbenih objektov
avtorji	doc. dr. Peter Podbreznik in doc. dr. Nenad Čuš-Babič
leto izida	2013
tipologija / vrsta publikacije	zapiski predavanj
različica (e-pub)	[12.9.2013]
URL (e-pub)	<a href="https://sites.google.com/site/zapiskiimngo">https://sites.google.com/site/zapiskiimngo</a>
sistemske zahteve (e-pub)	MS Windows, Mac OSX, Linux, internetni dostop
programske zahteve (e-pub)	spletni brskalnik, čitalec za PDF
založnik	Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo

## Uvod v BIM

### Razvoj in vloga risbe v arhitekturi in gradbeništvu

2D risba, skica in načrti se v procesu razvoja gradbenega objekta kot pomemben dejavnik pojavljajo že v času starega Egipta, ko so takratni arhitekti skrbno dokumentirali svoje delo (Pratyush 2007).

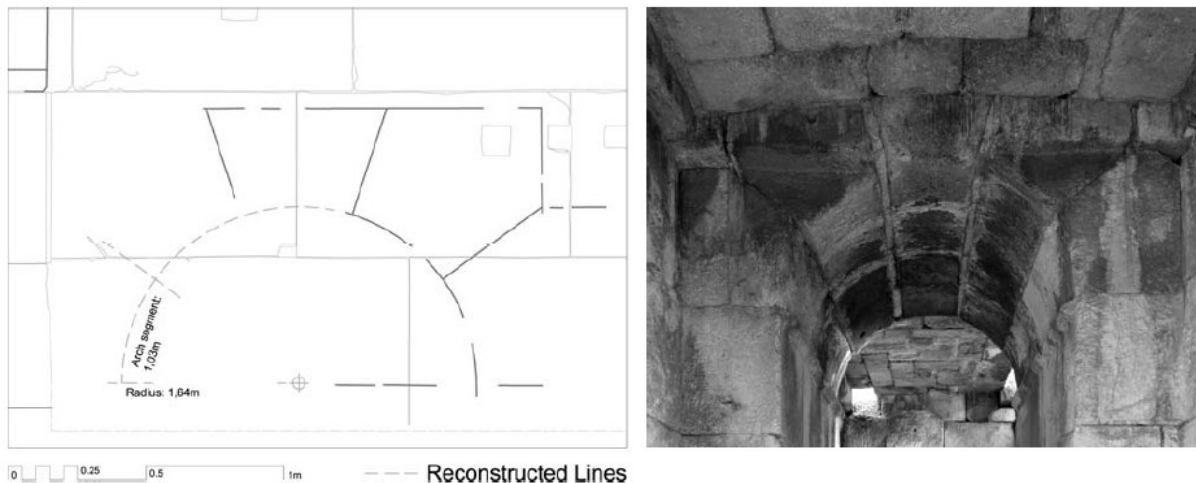


Slika 1: Ena najstarejših arhitekturnih risb iz starega Egipta (Rappoport 2003)

Iz časov starega Rima zasledimo arhitekturne risbe na osnovi katerih je mogoče sklepati o metodah grajenja objektov tistega časa (Lohmann 2009). Izkaže se, da se 2D risba v gradbeništvu in arhitekturi že ob začetku našega štetja uporablja za vsaj tri namene. Najdbe kažejo, da se risba uporablja tako za predstavitev oziroma vizualizacijo ideje, prav tako pa kot orodje v fazi načrtovanja. Lohmann navaja, da se za snovanje celotnega objekta uporablja tlorisni pogled, detajli in fasade pa so izdelani v obliki vertikalne projekcije. Komunikacijska funkcija risbe se še posebej odraža v uporabi le-te pri pripravi in izvedbi gradbenih del. Arhitekt za snovanje uporablja papir in riše v pomanjšanem merilu. Na samem objektu pa so bile najdene v kamen izpraskane risbe detajlov, navadno v naravni velikosti na zidovih pritličja, ki so služile pripravi in spremljanju gradbenih del (Slika 2). Večina risb je sicer v primeru dokončanih zgradb odstranjena. Risbe izpraskane na stene so s kasnejšim poliranjem kamna med zaključnimi deli na zidovih izbrisane.

Zgoraj navedene tri funkcije risbe – predstavitev ideje, oblikovanje in konstruiranje ter na zadnje priprava gradnje – se v gradbeništvu ohranjajo skozi tisočletja, kar je razvidno iz sicer redkih ohranjenih risb in načrtov v obdobju od starega Rima do srednjega veka, kot npr. Sketchbook of Villard de Honnecourt iz leta 1225 (Barnes 2007) in Plan of Saint Gall iz devetega stoletja (McClendon 2005). Seveda se skozi čas spreminja tehnika izdelave in material, spreminja in širi pa se tudi področje uporabe tehnične risbe.





Slika 2: Risba arkade v naravni velikosti in izveden element, rimsko svetišče Baalbek, planota Bekaa, Libanon (Lohmann 2009).

Iz zgoraj navedenih primerov vidimo, da razvoj risbe v veliki meri pogojuje družbena vloga arhitekta in gradbenika. Kadarkoli se družbeni položaj arhitekta večja (Egipt, Rim, renesansa), uporaba risbe prehaja v ospredje in se večja tudi njena komunikacijska vloga. Za razliko od npr. stare Grčije, ko družbeni položaj arhitekta ni bil tako povzdignjen in se tudi komunikacija reducira na ustni prenos informacij (Pratyush 2007) ali v srednjem veku, ko mojster graditelj prevzema tako vlogo arhitekta kot gradbenika in na osnovi izkušenj pozna pravila gradnje ter na tej osnovi oblikuje stavbo. Vloga risbe in načrta se ponovno močno okrepi v renesansi, ko arhitekt, ki je v osnovi umetnik in ne pozna nujno vseh tehničnih podrobnosti ter tehnologije grajenja, spet prevzame vodilno vlogo pri oblikovanju zgradb. Okrepi se potreba po komunikaciji med arhitektom in mojstri, ki zgradbo dejansko gradijo in rešujejo tehnične probleme (Millon 1997).

Skozi čas se razvija tudi razumevanje 3D prostora in ob tem način upodabljanja le-tega v dveh dimenzijah. Risba dobiva svoje teoretično ozadje, kar se sicer prične že z Euklidovo izpeljavo principov geometrije. Ob ostalih spoznanjih je za arhitekturno snovanje zelo pomembno delo Filippa Brunelleschija (Prager & Scaglia 2004), ki je geometrijsko opredelil perspektivo. Za gradbeništvo pa je seveda velikega pomena tudi razvoj opisne geometrije, ki jo razvije francoski matematik Gaspard Monge (Monge 1809). Opisna geometrija omogoča z dvodimenzionalno risbo opisati katerikoli trodimenzionalni objekt, tako da si ga je mogoče predstavljati s kateregakoli zornega kota in pri tem ohranja informacijo o obliki in pravih dimenzijah objekta. Razumevanje izdelave in vsebine risbe ima svoj pomemben vpliv tudi na razvoj gradbene prakse. Npr. Mongeova opisna geometrija je bila celo obravnavana kot vojaška skrivnost zaradi prednosti, ki jih je prinašala.

S pojavom računalniške tehnologije se v osemdesetih letih pojavi tudi računalniško podprto načrtovanje (*ang. Computer Aided Design – CAD*). Najprej se računalnik uporablja kot nadomestilo za risalno desko, vendar se na področju računalniško podprtega načrtovanja hitro razvijajo metode 3D modeliranja, ki omogočijo modeliranje teles v 3D prostoru. Računalniški modeli omogočajo tako 2D kot 3D vizualizacijo, doprinesejo pa tudi k hitremu razvoju računalniško podprtih metod za najrazličnejše

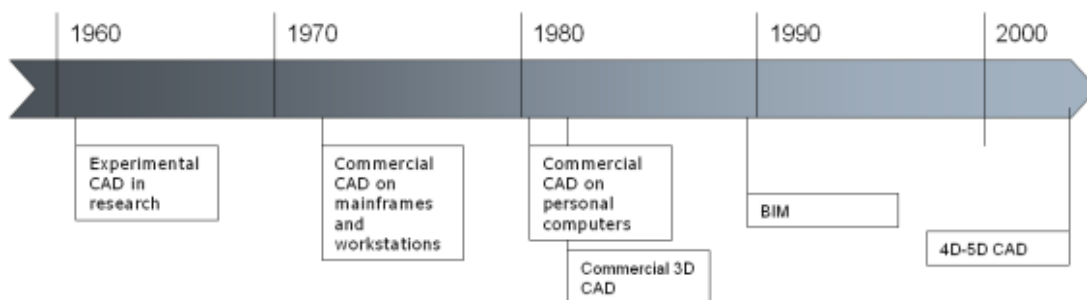
analize ter v končni fazi avtomatizacijo izdelave končnega izdelka. V tej točki razvoja žal ugotavljamo, da gradbeništvo prične zaostajati za drugimi tehničnimi področji. Razlogi za to so mnogoteri in presegajo zmožnosti ali omejitve trenutnega stanja razvoja tehnologije.

Ob koncu tega zgodovinskega pregleda lahko povzamemo, da je v vseh obdobjih risba imela pomembno vlogo pri arhitekturnem in inženirskem delu pri grajenju objektov. Grafika pri inženirskem snovanju in gradnji zajema tri ključne vloge in sicer vizualizacijo, posredovanje informacij o objektu ter dokumentiranje. Vizualizacija nam omogoča boljše razumevanje problemov in evalvacijo rešitev oblikovanja in načrtovanja. Vizualna komunikacija ima ključno vlogo pri posredovanju informacij o izdelku med udeleženci iz tudi med seboj zelo različnih področij, ki sodelujejo pri nastanku in izvedbi. Izgotovljen načrt predstavlja dokumentacijo o objektu gradnje in služi kot osnova za izvedbo. Na osnovi risbe se vzpostavljajo dogovori in obveznosti med partnerji. Dejansko so te funkcije trajne skozi celotno zgodovino gradbeništva in arhitekture. Skozi čas se spreminja način izdelave grafik ter način posredovanja le-teh med udeleženci gradbenih projektov. Napredek v načinu izdelave, obliki in načinu posredovanja grafične informacije pa izboljšuje prej navedene funkcije, katerih nosilec je vizualna predstavitev.

### Razvoj računalniško podprtega načrtovanja

Z razvojem računalništva in informacijskih tehnologij se korenito spreminja tudi oblikovanje, načrtovanje in posredovanje vizualnih informacij. Za gradbeno industrijo ima vpeljava računalniške podpore načrtovanju velik vpliv. Dvodimenzionalna risba, ki je tisočletja temelj arhitekturnega snovanja in komuniciranja v gradbeništvu, z uporabo računalniških aplikacij izjemno napreduje in dobi še tretjo dimenzijo. Hkrati se geometrijski modeli povežejo z drugimi podatki o objektu in govoriti pričnemo o informacijskih modelih objekta (*ang. Building Information Model – BIM*).

Časovna os (Slika 3) predstavlja potek razvoja in nakazuje osnovne mejnike od začetkov uvajanja CAD naprej.

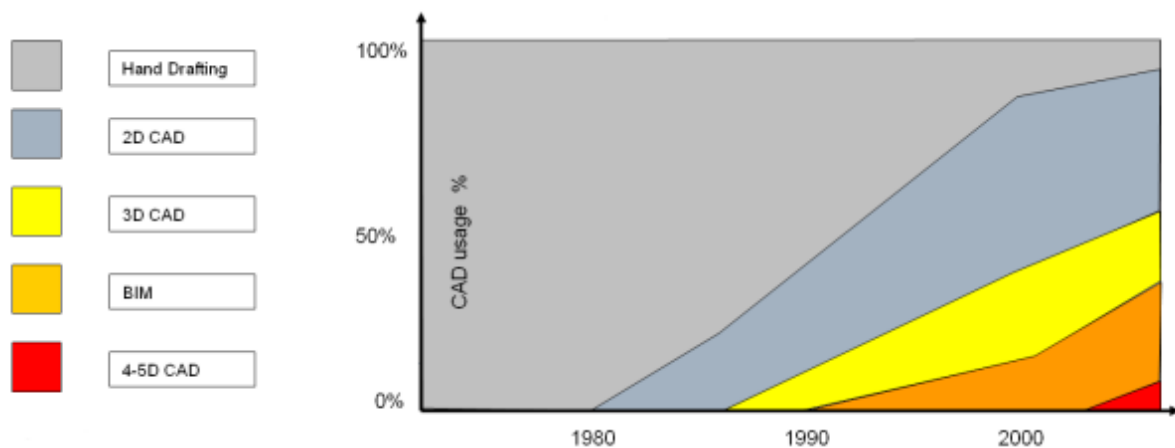


Slika 3: Mejniki v razvoju CAD (Graphisoft 2012).

Pričetki CAD segajo v zgodnja šestdeseta leta, v čas pričetka širšega razvoja računalništva, ko so nastali tudi osnovni vmesniki in naprave za interaktivno delo z računalniki, kot npr. miška. Komerzialna uporaba CAD se prične v začetku sedemdesetih let na velikih računalnikih (*ang. mainframe computers*) in delovnih postajah. Cena takratnih računalnikov je bila zelo visoka, zato je tudi njihova uporaba bila precej omejena predvsem na državne ustanove in velika podjetja. S pojavom osebnih računalnikov v

začetku osemdesetih let pa se pojavi razcvet uporabe CAD v industriji na splošno. Z nižanjem cen računalnikov postane njihova uporaba in seveda tudi uporaba CAD dostopna tudi manjšim podjetjem, ki so značilna na področju arhitekturnega oblikovanja in gradbene industrije. Risanje (2D) se tako prenese iz risalne deske na računalnik, kmalu za tem pa se z razvojem ustrezne programske opreme pojavi še 3D modeliranje. Do konca osemdesetih let so proizvajalci programske opreme prilagajali modelirnike specifičnim potrebam uporabnikov in tako se funkcionalnosti modelirnikov specializirajo za potrebe različnih strok. Na področju gradbene industrije se pojavi koncept informacijskega modela objekta (BIM). Skozi nadaljnji razvoj koncepta, katerega osnovna ideja je integracija gradbenega procesa, se po letu 2000 pojavijo integrirane rešitve, ki načrtovanje in posredovanje informacij o gradbenem objektu povezujejo tudi s časovnim planiranjem gradnje, kakor tudi s tehnološkimi postopki grajenja in stroškovnimi vidiki.

Uporaba CAD v gradbeni praksi vedno nekoliko zaostaja za tehnološkimi inovacijami na področju informacijskih tehnologij, saj je potreben določen čas za vpeljavo novih tehnologij. Vpeljevanje novih tehnologij namreč ni odvisno le od same tehnologije. Uspeh je odvisen od mnogih vidikov delovanja nekega področja, kot so npr. organizacija procesov in vlog, učenje in ponotranjenje novih metod dela, spremembe v zakonski regulativi itd.



Slika 4: Uporaba CAD v gradbeništvu (Graphisoft 2012).

Slika 4 prikazuje deleže uporabe različnih tehnologij CAD v gradbeni praksi. Na sliki vidimo, da so kljub razvoju sodobnejših rešitev v velikem deležu še vedno v uporabi tudi predhodne tehnološke rešitve.

V nadaljevanju se bomo ozrli na osnovne stopnje razvoja CAD in za vsako stopnjo na kratko opisali njihove osnovne lastnosti. Ogleдали si bomo:

- 2D CAD, elektronska risalna deska,
- 3D CAD, modeliranje za potrebe vizualizacije,
- informacijsko modeliranje objektov (BIM), modeli z vključenimi arhitekturnimi in gradbeniški podatki ter
- koordinacija gradbenih procesov(4D in 5D), vključevanje terminskih planov in stroškov v model

## 2D CAD

Prve CAD aplikacije so bile nekakšna kopija risanja na risalni deski. Te aplikacije omogočajo izdelavo dvodimenzionalnih risb, 3D modelov pa v njih ni mogoče izdelati. To pomeni, da so 3D objekti predstavljeni na enak način kot na papirju, torej v ortogonalnih projekcijah. Ker narisani objekt obstaja le v projekcijah, takšna predstavitev ne omogoča izračunov, ki bi se nanašali na celoten objekt. 2D CAD aplikacije risbe shranjujejo v datoteke, tako da je vsaka risba shranjena v svojo datoteko in med njimi ni povezave. Usklajevanje risb, kot npr. tloris instalacij in tloris arhitekture, poteka ročno in uporabnik mora sam poskrbeti, da so spremembe vnesene povsod kjer je to potrebno. Tudi projekcije je potrebno ročno usklajevati med seboj. Če se pojavi sprememba v tlorisu, program vnesene spremembe ne more samodejno prenesti še v ostale projekcije.



Slika 5: Računalniško podprto risanje (Graphisoft 2012).

### Prednosti 2D

**V odnosu do risanja na papir:** V računalniški aplikaciji je risbe mogoče hitreje spreminjati. Natančnost risanja je večja, saj geometrijo lahko podajamo tudi z vnosom koordinat ali dimenzij v numerični obliki in ne samo grafično. Veliko opravil z uporabo aplikacije pohitrimo, kot npr. šrafitiranje, ponavljanje enakih elementov in uporaba različnih tipov črt. Določene operacije pa na papirju sploh niso možne, kot npr. premikanje, skaliranje, rotacija in kopiranje. V naprej si lahko tudi pripravimo gradnike, ki jih vedno znova uporabljamo.

**V odnosu do 3D CAD in BIM:** 2D načrtovanje ima pred 3D in BIM pristopi tudi nekatere prednosti. Načrtovanje poteka enako kot na papirju. Delo je preprosto, uporabnik se osredotoča samo na posamezen vidik risbe in pri tem sledi dolgoletni ustaljeni praksi. Rezultat načrtovanja so risbe, ki jih shranjujemo v majhne datoteke, ne zavzemajo veliko prostora na disku in jih je enostavno ter hitro mogoče prenašati po omrežjih. Pristop je uporaben za vse vrste zgradb in tudi širše, za načrtovanje kateregakoli predmeta.

### Slabosti 2D

**V odnosu do 3D in CAD:** Risbe prikazujejo le 2D projekcije objekta in ne omogočajo 3D vizualizacije. Načeloma je mogoče na osnovi 2D načrtov pripraviti avtomatizirano 3D rekonstrukcijo vendar to za kakovostno vizualizacijo navadno ne zadošča, saj 3D objektom ni mogoče določiti nobenih lastnosti. Druga težava je v usklajevanju projekcij, saj program za 2D načrtovanje ne zagotavlja avtomatiziranega nadzora nad usklajenostjo projekcij med seboj. Izračunov in analiz, kot npr. popisa količin, na osnovi 2D

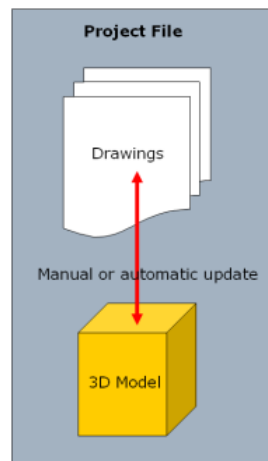




risb ni mogoče avtomatizirati. Prav tako ni mogoče avtomatizirano preverjati konfliktov pri načrtovanju.

### 3D CAD

Aplikacije, ki podpirajo 3D modeliranje omogočajo, gradnjo modelov, ki so eksplicitno definirani v 3D prostoru in tako ni potrebno končnega modela iz risb mentalno ali računalniško sestavljati. Prav tako te aplikacije omogočajo tudi 2D načrtovanje, kot je opisano v prejšnjem razdelku. 2D in 3D predstavitve so lahko shranjene v isti datoteki, določene 2D risbe pa je mogoče tudi avtomatično generirati iz 3D modela kot shematsko prikazuje slika 6. Orodja za risanje so nadgrajena tako, da omogočajo vnos koordinat tudi s tretjo dimenzijo, vendar so modeli še vedno sestavljeni le iz osnovnih vizualnih gradnikov, to je točk in črt. Le-te sicer lahko povezujemo v skupine zaradi lažje ponovne uporabe, vendar vsebinsko in semantično gradniki niso eksplicitno opredeljeni kot gradbeni oz. arhitekturni elementi. Večina 3D CAD modelirnikov vključuje enostavnejša orodja za vizualizacijo in osnovne analize modela, kot je izračun količin (npr. površine, volumni itd.). Orodja navadno še ne omogočajo avtomatizirano generiranje gradbene dokumentacije.



Slika 6: Avtomatsko generiranje 2D risb iz 3D modela (Graphisoft 2012).

### Prednosti 3D CAD

**V odnosu do 2D CAD:** Modeliranje v treh dimenzijah ima pred 2D risbami kar nekaj prednosti. Med njih prištevamo zmožnost 3D vizualizacije, ki bistveno pripomore k odkrivanju problemov pri načrtovanju objekta in odkrivanju vsebinskih napak načrtovanja. Posamezni pogledi ali projekcije so v 3D modelu združeni v celoto, zato usklajevanje projekcij ni potrebno, uporabnik pa spremembe modela opravi hitreje. Ob vizualizaciji je ena pomembnih prednosti tudi zmožnost izvajanja analiz nad modelom, kot je npr. popis količin.

**V odnosu do BIM:** V primerjavi s sodobnejšimi pristopi in uporabo BIM je v običajnih 3D CAD modelirnikih še vedno delo z 2D risbo povsem enakovredno 3D modeliranju. Tako ni nujno izdelovati 3D modela, če uporabnik tega ne želi in potrebuje le 2D risbo. Prav tako so tudi datoteke manjše, kar pozitivno vpliva na postopke izmenjave datotek med projektnimi partnerji.



## Slabosti 3D CAD

**V odnosu do BIM:** Modeliranje odstopa tako od ustaljene prakse 2D načrtovanja, kot tudi vsebinsko ustrežnejšega BIM modeliranja. Pomen gradnikov ni eksplicitno določen in ni vezan na področje arhitekturnega in inženirskega načrtovanja. Zato se pojavlja veliko težav pri prenosih modela med posameznimi programi in pri interpretaciji pomena gradnikov. Posledično tudi izdelava dokumentacije ne more biti povsem avtomatizirana.

## Informacijsko modeliranje objektov (BIM)

Z nazivom informacijsko modeliranje objektov imenujemo koncept, ki se bistveno razlikuje od 2D ali 3D načrtovanja. Za razliko od predhodnih metod računalniško podprtega načrtovanja BIM omogoča grajenje celovitega modela objekta z uporabo arhitekturnih/gradbeniških gradnikov, ki so načrtovalcu na razpolago kot inteligentne komponente. V literaturi najdemo kar nekaj definicij BIM, ki pa so si med seboj precej podobne. V nadaljevanju je predstavljeno nekaj definicij iz katerih je razviden smisel in pomen koncepta.

Kratica BIM se izmenoma uporablja na dva različna načina. Enkrat tako, da imamo v mislih model, spet drugač pa tako, da imamo v mislih proces modeliranja. Najprej pogledajmo definiciji BIM v smislu modela:

*»BIM je digitalna predstavitev fizičnih in funkcionalnih lastnosti objekta. Predstavlja skupni vir znanja in informacij o objektu ter zagotavlja zanesljivo osnovo za odločanje skozi ves življenjski cikel od zamisli naprej.«* (NIBS 2007 v (Eastman et al. 2011))

*»Cilj nevtralnega BIM-a je deliti in integrirati podatke načrtovanja. Omogoča združevanje vseh informacij potrebnih za izvedbo ključnih procesov. Prav tako omogoča koordinacijo načrtovalskih aktivnosti ter harmonizacijo rešitev načrtovanja. K celovitemu BIM-u ob arhitekturnih gradnikih prištevamo tudi podatkovne strukture kot so risbe, kalkulacije... (nestrukturirani podatki)«* (Nour et al. 2012)

Definiciji nakazujeta dva vidika, ki ju lahko pri razlagi BIM upoštevamo. Kot ugotavlja tudi (Eastman et al. 2011), model objekta lahko razumemo glede na to kaj vsebuje ali pa glede na to kaj lahko z njim počnemo. V BIM so gradniki objekta predstavljeni z opisom geometrije, grafičnimi lastnostmi in drugimi atributi ter parametričnimi pravili, ki omogočajo inteligentno uporabo gradnikov. Gradniki vsebujejo tudi pravila, ki definirajo njihovo obnašanje pri različnih analizah. Podatki so shranjeni brez odvečnosti (neredundantno). To pomeni, da je vsak podatek shranjen samo enkrat ne glede na to kje vse ga potrebujemo. Takšno shranjevanje podatkov zagotavlja, da so vse spremembe določenega podatka takoj na razpolago povsod kjer je podatek uporabljen. Celoten model ves čas ostaja konsistenten. Iz BIM lahko pridobimo potrebne 2D risbe, 3D izrise in različne vizualizacije, podrobne in strokovno specifične načrte, kalkulacije in ocene. Neredundaten zapis zagotavlja, da se vsaka sprememba odraža v vseh navedenih izdelkih in rezultatih, ki iz BIMa izhajajo.

Po drugi strani pa kratico BIM razumemo tudi kot proces, torej informacijsko modeliranje objektov. V tem smislu BIM opisuje definicija ameriškega združenja National Institute of Building Sciences (NIBS 2008, glej Eastman):



» *Informacijsko modeliranje objektov je izboljššan proces planiranja, načrtovanja, grajenja in upravljanja vseh zgradb, starih in novih, z uporabo računalniško berljivih informacijskih modelov, ki vsebujejo vse zbrane ali ustvarjene informacije o zgradbi zapisane v formatu, ki omogoča njihovo uporabo skozi cel življenjski cikel objekta.*«

Druga definicija BIM v procesnem smislu je tudi definicija, ki jo podaja Jernigan (2007, glej BIM guide):

»*Informacijsko modeliranje objektov (BIM) je človeška dejavnost, pri kateri z uporabo programske opreme ter informacijskih tehnologij ustvarjamo in uporabljamo informacijske modele objektov*«

Iz navedenih definicij vidimo, da je BIM mnogo širši koncept od prej omenjenih načinov načrtovanja objektov. S pomočjo BIM dobimo 3D model zgradbe, ki predstavlja osnovo za vse zahtevane izdelke načrtovanja in izvedbo najrazličnejših aktivnosti gradbenega projekta. Zaradi njegove celovitosti model imenujemo tudi virtualna zgradba (*ang. Virtual Building*), aktivnosti povezane z BIM zasnovanim grajenjem pa virtualno načrtovanje in gradnja (*ang. Virtual Design and Construction – VDC*) (CIFE 2013).

Glavne karakteristike lahko povzamemo v naslednjih točkah:

- model celovito in na enem mestu zajema vse podatke o zgradbi ter njene specifične predstavitve,
- za modeliranje uporabljamo arhitekturne/gradbeniške gradnike,
- spremembe modela se odražajo v vseh predstavitev, risbah, pogledih (in obratno),
- dokumentacijo lahko na avtomatiziran način generiramo iz modela,
- v modelu hranimo vse podatke in lastnosti gradbenih elementov pomembne za grajenje, ne le geometrije,
- model omogoča kar risbe ne omogočajo, kot npr. 3D izrise, animacije, izdelavo popisov materiala, izdelavo plana aktivnosti gradnje ter
- tok dokumentacije se lahko avtomatizira.

### Prednosti BIM

Zavedati se moramo, da je računalniško podprto načrtovanje (CAD), splošnejši koncept, ki se nanaša na vse inženirske stroke, ne le na gradbeništvo in arhitekturo. Po drugi strani pa je BIM prvenstveno namenjen gradbeni industriji. Zato lahko upravičeno pričakujemo, da bo ta pristop bolje zadostil potrebam gradbeništva kot tradicionalni CAD pristopi.

**V odnosu do 2D in 3D CAD:** Gradniki uporabljeni za modeliranje imajo pomen znotraj stroke. Zato je modele pri izmenjavi med udeleženci projekta lažje interpretirati in razumeti. Spremembe na eni risbi ali kateremkoli delu modela se odražajo tudi v ostalih risbah in izdelkih. Možna je izdelava vizualno bogatih predstavitev, izrisov in animacij. Prav tako je mogoče avtomatizirati popis materiala in pripravo terminskih planov. Model lahko uporabljamo za potrebe statične analize, izračuna energetske učinkovitosti, odkrivanje napak načrtovanja in drugih opravil, ki jih z risbami ni mogoče izvesti ali pa je delo zelo zamudno.



## Slabosti BIM

Med slabosti uporabe BIM prištevamo predvsem kompleksnost in visoke zahteve po znanju, ki ga uporabniki potrebujejo za učinkovito rabo. Ugotovimo sicer lahko, da naj bi prednosti BIMa doprinesla k poenostavitvi mnogih opravil, ki se v projektu pojavljajo. Kompleksnost v tem smislu leži predvsem v potrebi po radikalni spremembi delovnih procesov. Za učinkovito in ekonomično uporabo BIM je namreč potrebno spremeniti tradicionalni način izvedbe projekta, ki bazira na hierarhiji podizvajalcev, ki jih izbiramo po principu najnižje cene, v sodobnejše načine izvedbe projektov. Med slednje prištevamo pristop »design-build«, kolaborativno delo in IPD (*ang. Integrated Project Delivery*) pristope (Wikipedia 2012). Iz navedenega sledi, da je prehod na BIM lahko posebej težaven za obstoječe uporabnike 2D in 3D CAD sistemov, saj se bistveno razlikuje od ustaljene prakse.

## Koncepti BIM

V nadaljevanju so nekoliko podrobneje predstavljeni nekateri prej navedeni koncepti, ki so osnova rešitvam, ki temeljijo na informacijskih modelih objektov.

### Gradbeniški in arhitekturni elementi

Informacijski modeli objektov so sestavljeni iz elementov, ki so virtualna predstavitev realnih arhitekturnih in gradbenih elementov. Tako model pri načrtovanju ne sestavljamo iz črt in ploskev, temveč ga gradimo iz zidov, stebrov, plošč, streh itd. Ne glede na kakšen način model sestavljamo (v 2D ali 3D) ali v katerem pogledu (tloris, stranski pogled itd.) ga gradimo, vedno pri delu uporabljamo arhitekturne gradnike. Te gradnike imenujemo komponente, le-tem pa lahko zraven geometrijskih lastnosti pripišemo tudi druge informacije, ki so pomembne za načrtovanje, gradnjo ali vzdrževanje. Komponente navadno imenujemo tudi inteligentne komponente, saj vsaki komponenti lahko ob statičnih podatkih, oz. lastnostih, definiramo tudi pravila, ki veljajo pri uporabi dane komponente. Pravila zagotavljajo, da je komponento mogoče uporabiti le na ustrezne načine, npr. okno ne moremo v zid vstaviti tako, da bi deloma segalo preko roba zidu. Po drugi strani pravila definirajo tudi razmerja med lastnostmi posamezne komponente in lastnostmi med komponentami. Na tej osnovi se geometrija celotne zgradbe ali njenega dela v celoti ponovno preračuna in generira na novo, ko pride do spremembe v katerem od povezanih delov.

Arhitekturne komponente so v BIM aplikacijah definirane v knjižnici komponent. Knjižnica vsebuje splošne komponente, ki imajo nekatere geometrijske značilnosti določene vnaprej, druge pa jim določi uporabnik, ko komponento uporabi za sestavljanje modela. Na primer, komponenta »zid« ima vnaprej določeno notranjo strukturo. Ko to komponento uporabimo pa ji seveda moramo določiti še zunanje dimenzije, npr. višino in dolžino. S pravili je lahko tudi določeno, da se višina zidu določi samodejno glede na podano višino nadstropja. V tem primeru se bo višina zidu v modelu samodejno prilagajala vsakokratni spremembi višine nadstropja. Zaradi podanega pravila, uporabnik tega podatka ne rabi ročno spreminjati.

Programi komponente obravnavajo in jih prikazujejo glede na podane lastnosti. Primer različne obravnave istega gradbenega elementa, oz. komponente prikazuje slika 7.



Predstavitev v risbi:

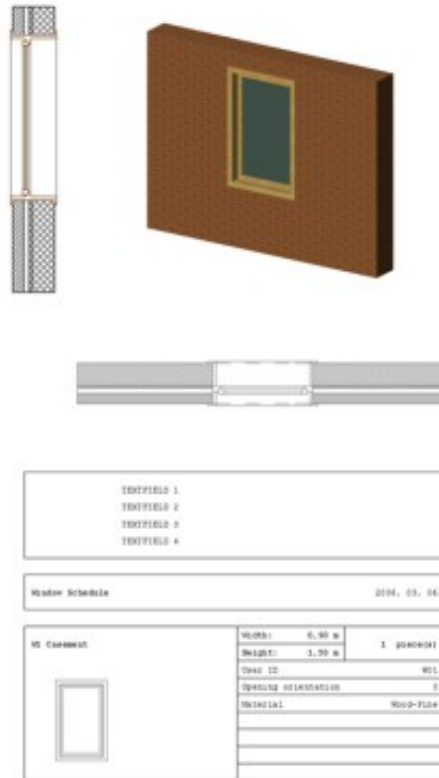
- tloris, prerez
- šrafure, polnila, ozadje
- prikaz detajlov glede na merilo

Predstavitev modela:

- 3D vizualizacija
- nastavitev barv, tekstur

Ne-grafične informacije:

- opis materiala
- količine, volumni
- stroški
- specifični podatki kot npr. odpornost na vročino, toplotna prevodnost, prevodnost svetlobe



Slika 7: Različni prikazi istega arhitekturnega elementa

### Na BIM temelječa dokumentacija

Tisočletna zgodovina arhitekturne in tehnične risbe se s pojavom 3D modelov in BIM še ne končuje. Risbe so še vedno temeljni dokument, ki ga v gradbeništvu uporabljamo za posredovanje grafičnih informacij. Zato tudi BIM modelirniki morajo ob vseh novostih in fotorealističnih prikazih objekta omogočati tudi izdelavo načrtov v obliki 2D risbe v ortogonalnih projekcijah. Modelirniki znajo na osnovi modela objekta avtomatsko generirati vse potrebne risbe. Tako uporabniki BIM orodij ne ustvarjajo modela in 3D vizualizacij posebej in nato še 2D risb posebej. 2D risbe so le poseben pogled na model objekta.

Avtomatizirano generiranje dokumentacije iz modela ima več prednosti:

- model in risbe vedno ostajajo skladni,
- vse risbe lahko generiramo neposredno iz modela,
- risbe so med seboj vedno usklajene,
- spreminjanje merila risbe je preprosto,
- celoten življenjski cikel objekta lahko upravljamo s skupnim modelom,
- model omogoča tudi bogato vizualizacijo, 3D poglede, foto-realistični izrisi,
- itd.



## Numerični podatki in izračuni

Omenili smo že, da lahko ob geometrijskih lastnostih v BIM zapišemo tudi podatke, ki se nanašajo na ostale lastnosti gradbenega elementa. To so npr. količine, material, tehnične podrobnosti, navodila za grajenje, varnostna opozorila, cena itd. Podatke v BIM prispevajo različni udeleženci projekta skozi sodelovalne procese načrtovanja, planiranja, odločanja in grajenja. Glede na to, da so nekateri podatki lahko tudi zaupne narave za posameznega udeleženca projekta, ni vedno pričakovati, da bodo vsi neomejeno delili svoje podatke preko skupnega BIMa. Zavedati se moramo, da so velikokrat udeleženci projekta sodelavci le na enem projektu in da so že na naslednjem projektu lahko konkurenca. Iz tega razloga je takšno skrivanje podatkov razumljivo.

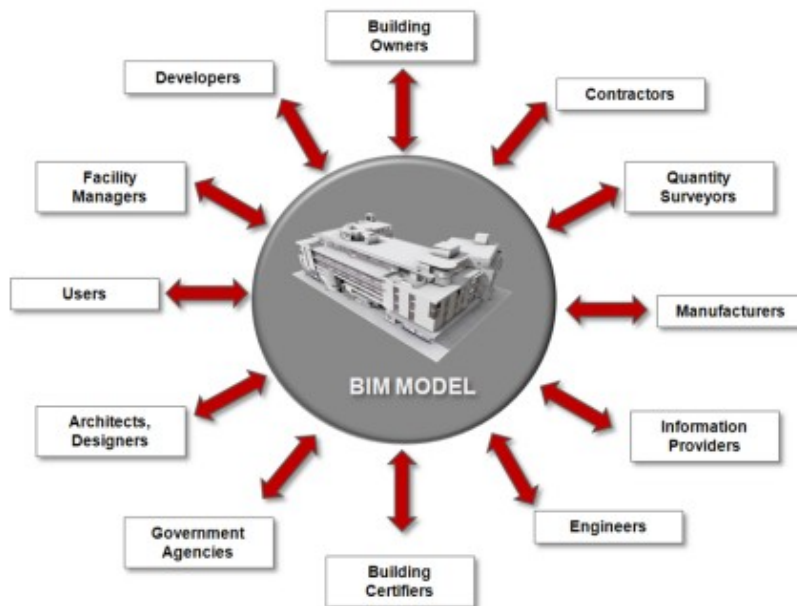
Vendar pa je ob ustrezni organizaciji in sestavu partnerjev mogoče zbrati veliko podatkov, ki nato omogočajo hitro in enostavno izvedbo popisov materiala, izdelavo različnih seznamov npr. oken, vrat itd.

## Sodelovanje med udeleženci projekta

Ker vsak izmed udeležencev projekta izvaja določen segment opravil za katerega je specializiran, mora nujno sodelovati z drugimi udeleženci projekta, saj vsi gradijo isti objekt. Sodelovanje vključuje veliko izmenjav informacij o objektu, njegovih lastnostih in medsebojnega usklajevanja podatkov. Še posebej v fazi načrtovanja, ko je sprememb in usklajevanja veliko, je komunikacija pogosta in kompleksna. Upoštevati moramo, da je gradbeni objekt zapletena zadeva in je zato tudi njegov opis kompleksen, podatki ki jih vsebuje pa zahtevajo veliko mero natančnosti in zanesljivosti.

Napredna BIM orodja omogočajo izmenjavo podatkov med udeleženci projekta na različne načine. Tako orodja istega proizvajalca omogočajo izmenjavo podatkov z uporabo internih podatkovnih formatov, med seboj neodvisna orodja pa zahtevajo dodatne vmesnike ali pa izmenjujejo podatke skladno z odprtimi standardi. Podatke o modelu je mogoče deliti tudi preko namenskih BIM strežnikov, kar je v primeru večjega števila udeležencev še posebej zaželeno (glej sliko 8). Včasih je potrebno podatke izmenjati tudi na bolj preproste načine, ki niso najbolj optimalni in se pri tem določeni podatki tudi izgubijo.





Slika 8: Udeleženci procesa gradnje, ki izmenjujejo podatke o objektu z uporabo BIM (Graphisoft 2012).

Na tem mestu navajamo nekaj podatkovnih formatov, ki se pogosto uporabljajo za izmenjavo BIM podatkov med projektnimi partnerji:

- IFC (Industry Foundation Classes),
- DXF-DWG (Autocad Drawing),
- PDF (Portable Document Format),
- XML (Extensible Markup Language) in
- drugi interni formati CAD aplikacij.

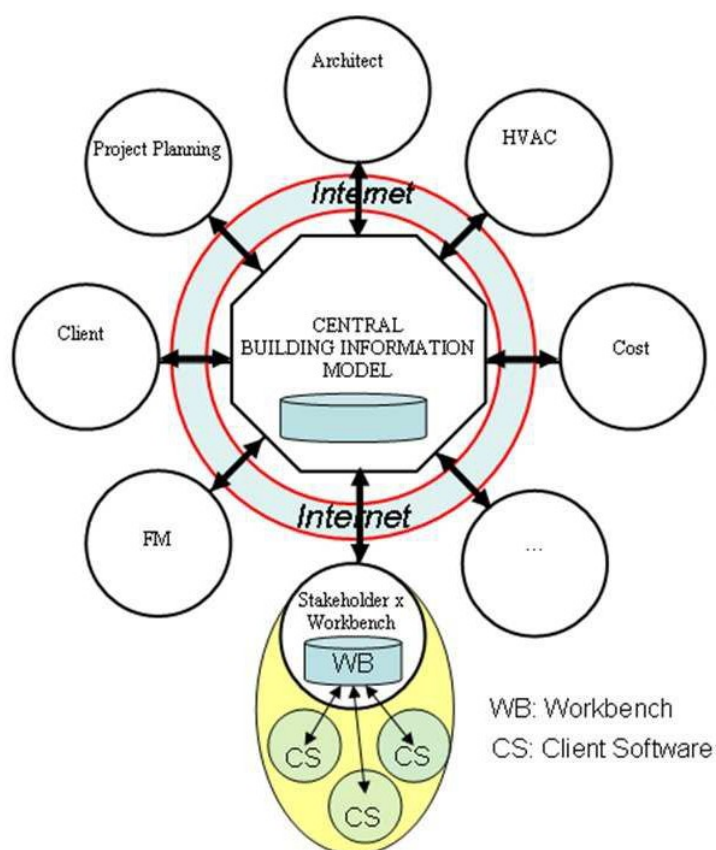
Izmed naštetih bi posebej izpostavili IFC, kot odprt standard za izmenjavo in deljenje BIM podatkov ter zagotavljanje prenosljivost (*ang. interoperability*) med orodji in udeleženci skozi cel življenjski cikel objekta kot shematsko prikazuje slika 8. Več o sodelovanju med udeleženci projekta je zapisano v poglavju [Sodelovanje med partnerji v gradbenem projektu](#).

### Sodelovanje znotraj projektne skupine

V prejšnjem razdelku smo govorili o možnostih sodelovanja med različnimi udeleženci gradbenega projekta. Še posebej pri večjih projektih je priporočljivo, da partnerji imajo na razpolago skupni BIM strežnik, kjer se zbirajo, vzdržujejo in upravljajo informacije o objektu. Vsak udeleženec ima v projektu svoje zadolžitve in je odgovoren za specifični vidik načrtovanja ali izvedbe in s tem tudi za podatke, ki so z njegovim delom povezani. Načrtovalec strojnih inštalacij pri svojem delu lahko naleti na konflikt s posameznimi arhitekturnimi rešitvami, vendar bo spremembe v arhitekturi pripravil arhitekt.

Skrb za posamezni vidik projekta lahko pri enostavnejših projektih prevzame posameznik. Pri večjih projektih pa je vendarle bolj verjetno, da bo za posamezni vidik skrbela skupina strokovnjakov. Slika 8 v prejšnjem razdelku celotno skupino prikazuje z enim kvadratom, ki sodeluje z ostalimi udeleženci. Znotraj skupine pa je prav tako potrebno zagotoviti ustrezno infrastrukturo, ki omogoča sodelovanje.

Zato si skupina ustvari lokalno delovno okolje, kjer člani projektne skupine znotraj enega podjetja izmenjujejo informacije o tistem vidiku objekta za katerega so zadolženi, kot npr. arhitektura, planiranje projekta, strojne inštalacije ipd. Lokalno delovno okolje predstavlja zaseben prostor, kjer člani skupine med seboj izmenjujejo lokalne informacije. Občasno te informacije posredujejo tudi v skupni BIM strežnik, kjer jih uskladijo s celotnim BIMom, oziroma svojo lokalno kopijo posodobijo s podatki iz skupnega strežnika ali neposredno od drugih udeležencev, kot to prikazuje slika 9. Takšno lokalno okolje omogoča, da skupina interno uporablja tudi informacije, ki jih pri svojem delu potrebuje in jih ne želi deliti z drugimi udeleženci projekta zaradi zaščite svojega znanja in konkurenčnih prednosti. Prav tako lokalno delovno okolje omogoča neodvisnost pri izbiri modelirnikov in drugih programskih orodij (Nour et al. 2012).



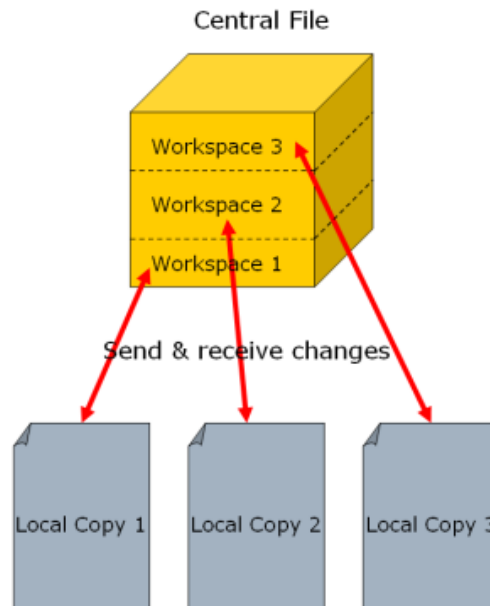
Slika 9: Lokalno delovno okolje udeleženca (stakeholder's workbench) (Nour et al. 2012).

Ustrezni komunikacijski protokoli znotraj delovne skupine so ključni za uspešnost skupine ter kakovost izdelkov. Lokalno delovno okolje lahko temelji na izmenjavi datotek, na uporabi lokalnega BIM strežnika ali pa na skupni rabi datotek.

Skupina lahko v svojem lokalnem okolju vzpostavi podobno infrastrukturo, kot se v širšem smislu uporablja tudi na nivoju celotnega projekta. V tem primeru vzpostavi lokalni BIM strežnik, kjer se hrani lokalna domenska kopija podatkov o objektu. Posamezni člani skupine s svojimi modelirniki dostopajo do lokalnega strežnika in v odvisnosti od arhitekture sistema ustvarjajo svoje osebne lokalne kopije, ki



jih spreminjajo in izmenjujejo s strežnikom ali pa do njim dodeljenega dela BIMa na strežniku, kot prikazuje slika 10.

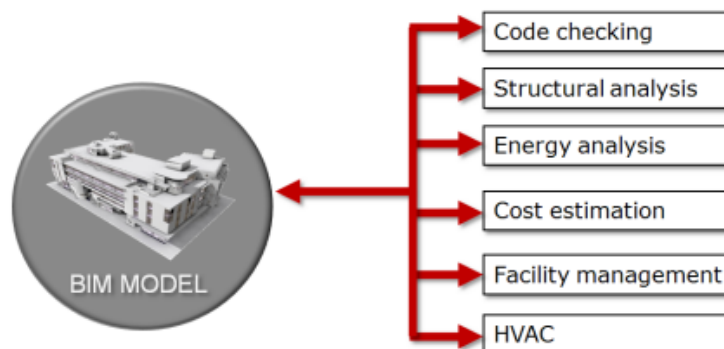


Slika 10: Lokalno delovno okolje – notranja arhitektura (Graphisoft 2012).

### Usklajevanje in analize

V pregledu definicij BIMa smo omenili, da lahko BIM opišemo s strukturo podatkov, ki jih vsebuje ali pa z naborom funkcionalnih zahtev, ki jih z BIMom lahko zadovoljimo. Če upoštevamo slednje, lahko ugotovimo, da je podatke iz modela mogoče uporabiti za najrazličnejše analize, usklajevanja in informirano sprejemanje odločitev.

Slika 11 našteva možne uporabe BIMa za potrebe analiz. Vidimo da se BIM lahko koristno uporabi za pripravo statičnih analiz konstrukcije, analizo energetske učinkovitosti, oceno stroškov projekta, načrtovanje in dimenzioniranje strojnih inštalacij, preverjanje kolizij med posameznimi rešitvami ter upravljanje in vzdrževanje objekta.



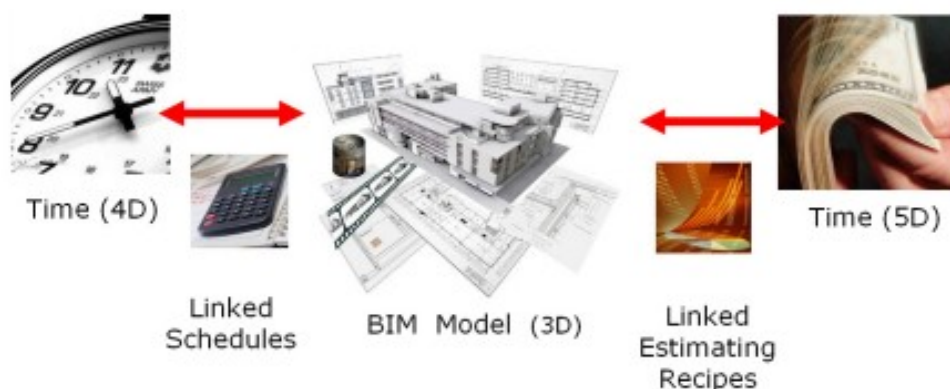
Slika 11: Analize ki jih izvajamo s podatki v BIM (Graphisoft 2012).

Za vsako od navedenih področij udeleženci projekta uporabljajo specifična programska orodja. Brez uporabe BIMa mora uporabnik v teh orodjih podatke o objektu vedno znova samostojno pripraviti, kar je lahko pomemben vir napak in je hkrati zelo časovno zamudno opravilo. Z uporabo BIMa orodja podatke o objektu pridobijo iz standardiziranih datotek, ki jih udeleženci med seboj izmenjajo ali pa z neposredno povezavo na BIM strežnik. Takšen pristop je mnogo bolj učinkovit in tudi veliko pripomore k zmanjšanju števila napak v podatkih.

### Koordinacija gradnje

Tudi za pogodbenike, ki izvajajo proces gradnje BIM prinaša koristi. Na gradbišču se srečuje veliko različnih izvajalcev, ki morajo delovati usklajeno. BIM omogoča boljše planiranje del, ki pripomore k manj konfliktom na gradbišču. Z boljšim planiranjem lahko ustvarimo prihranke pri porabi časa in stroškov gradnje. Dobave materiala lahko bolje uskladimo s potrebami gradbišča. Precejšen del proizvodnje je mogoče preseliti iz gradbišča v proizvodne obrate, kjer v organiziranem industrijskem okolju izdelujemo sestavne dele za gradnjo objektov. Industrializacija gradnje ima pozitivne vplive na kakovost izdelkov in optimizacijo procesov dela. Boljše planiranje in industrializacija doprineseta tudi k varnosti v postopkih grajenja.

Da bi dosegli najboljše učinke uporabe BIM za gradbene izvajalce, je potrebno zagotoviti njihovo zgodnje vključevanje v projekt (Eastman et al. 2011). Tradicionalno namreč izvajalci v zgodnjih fazah načrtovanja praviloma niso vključeni in nimajo vpliva na planiranje in odločanje. Pogodbeniki se pričnejo vključevati v projekt šele ob pričetku izvedbe gradbenih del. Takrat so vse pomembne odločitve načrtovanja že sprejete in izvajalci na njih nimajo več pravega vpliva, čeprav bi lahko informacije, ki jih imajo izvajalci gradbenih del, pripomogle k bolj racionalnim odločitvam, ki kasneje bistveno vplivajo na potek gradnje in kakovost objekta.



Slika 12: 4D in 5D modeli povežejo časovno in stroškovno komponento v BIM (Graphisoft 2012).

BIM za potrebe planiranja in spremljanja gradnje lahko igra pomembno vlogo. Podatki shranjeni v modelu namreč omogočajo hitrejše in bolj pravilno ocenjevanje potreb po materialu ter tudi času grajenja. V tem smislu BIM zagotavlja boljšo osnovo za terminsko planiranje projekta ter usklajevanje del med izvajalci. Podatke o terminskem planiranju lahko povežemo z gradbeniškiimi in arhitekturnimi gradniki, kar nam omogoča izvajanje simulacij postopka grajenja in 3D vizualizacijo procesa gradnje. Na modelu lahko analiziramo alternativne poti grajenja in tudi spremljamo napredovanje aktivnosti na

gradbišču ter pravočasno reagiramo ob morebitnih tveganjih. Povezovanje časovne komponente grajenja z elementi modela gradbenega objekta imenujemo 4D modeliranje. Podatke o aktivnostih lahko zapišemo neposredno v BIM, lahko pa gradnike modela povežemo s komponentami projektnega plana, ki ga pripravljamo v drugih orodjih. 4D modeli ob podatkih o samem objektu grajenja vsebujejo tudi podatke o začasnih objektih in gradnikih, ki jih je potrebno izvesti in jih v končni zgradbi ni. Takšne strukture so npr. opaži.

Za potrebe upravljanja projekta je izjemnega pomena tudi nadzorovanje stroškov gradnje. Planiranje stroškov je pomembno tako za investitorja, kakor tudi za izvajalce. Tako kot sam potek gradnje lahko s pomočjo BIM učinkovito simuliramo, planiramo in spremljamo tudi z gradnjo povezane stroške. Potrebne količine materiala, vrste in karakteristike materialov, tehnološki postopki, potrebe po specialni opremi (dvigala, orodja itd.) in drugi podatki (človeški viri), ki jih lahko shranjujemo v BIM, nam omogočajo poglobljene analize stroškov. Modele ki jim pridružimo še podatke o cenah in stroških, imenujemo 5D modeli.

### IPD (Integrated Project Delivery)

Pristop k izvedbi projekta imenovan Integrated Project Delivery (IPD) tako v fazi načrtovanja kot gradnje sledi načelom sodelovanja in odprte izmenjave podatkov med partnerji. S sodelovalnim načinom dela želimo znižati stroške in čas trajanja projekta. Za IPD pristop je značilna visoka stopnja zaupanja med partnerji, transparentnost delovnih procesov ter učinkovito upravljanje tveganj. Partnerji si delijo tako tveganja kot koristi projekta, saj uspeh projekta pomeni uspeh celotne skupine. Odločitve so usmerjene k skupni koristi celotnega projekta. Zaupanje in deljenje znanja, izkušenj in informacij rezultirajo v večji produktivnosti in učinkovitosti. Projektni partnerji svoje znanje in izkušnje v projekt prinesejo prej in s tem doprinesejo k boljši izkoriščenosti vseh potencialov, tako človeških kot tudi tehnoloških.

V tradicionalnem pristopu k izvedbi projekta, za katerega je značilna stroga hierarhična organiziranost podizvajalcev, partnerji praviloma na prvo mesto postavljajo individualne cilje in uspeh. Tradicionalni proces temelji na principu, kjer naj bi uspeh vseh posameznikov pomenil tudi uspeh celotnega projekta. Vendar pa so cilji in uspeh posameznih partnerjev praviloma medsebojno v nasprotju. Tako vsak vleče na svojo stran, stopnja sodelovanja je nizka in posameznik se ne ukvarja s projektom in njegovimi cilji celovito, temveč le sledi lastnemu uspehu. Neuspeh celotnega projekta ne pomeni tudi neuspeha posameznika. Tudi v neuspešnih projektih posamezni partnerji lahko veliko pridobijo. Nasprotno pa sodelovalno delo, ki ga uvaja IPD pristop, postavlja projektne cilje na prvo mesto. Temu se morajo prilagoditi vsi projektni partnerji, če želimo, da bo pristop uspešen. Za IPD je značilno, da se partnerji v projekt vključujejo bistveno prej kot v tradicionalnem pristopu. Zato se lahko vloge in zadolžitve prestrukturirajo in je mogoče bolje izkoristiti potenciale, ki jih partnerji imajo. Vsi partnerji skupaj stremijo k skupnim projektnim ciljem, ki so tudi skupno merilo uspeha. Seveda se tudi koristi delijo sorazmerno novim razporeditvam obveznosti.

Za sodelovalno delo ima BIM velik pomen, saj združuje vse informacije o objektu grajenja ter predstavlja tudi tehnološko platformo za sodelovanje skozi ves življenjski cikel. Prej omenjene zmožnosti BIMa omogočajo boljše planiranje in spremljanje projekta, stroškovno in časovno optimizacijo procesov in učinkovitejše upravljanje materialnega toka. Tako kot je BIM kot tehnologija pomemben za sodelovalno delo pa je tudi slednje pomembno za učinkovito rabo BIMa. V kompleksnih



projektih je namreč potrebno uskladiti veliko tehnoloških in procesnih razhajanj. Posamezni partnerji lahko uporabljajo različna orodja in tudi k modeliranju lahko pristopajo na različne načine. Zato je povezovanje partnerjev že v začetnih fazah projekta koristno tudi za usklajevanje skupnega razumevanja uporabljenih pristopov, dogovore o načinih izmenjave podatkov, izbiro ustrezne programske opreme in vzpostavitev ustreznih komunikacijskih kanalov in protokolov. Partnerji se med seboj dogovorijo o namenu in obsegu uporabe BIMa, odgovornostih za ažuriranje podatkov ter pravicah do vpogleda v zaupne podatke, kot so npr. ocene stroškov.

BIM je tako eden izmed sestavnih delov prenovljenega procesa izvedbe gradbenega projekta. Sodobnejši pristopi pa so nujni za izkoriščanje vseh potencialov BIMa. Ob tem se moramo zavedati, da je ob tehnoloških vidikih, s katerimi se ukvarjamo znotraj modeliranja in modelov, za celovit prehod na sodelovalno delo potrebno še veliko več kot samo zamenjati tehnološke rešitve.



## Vprašanja

1. Za katere tri namene se uporablja 2D risba skozi celotno zgodovino?
2. Kdaj vloga risbe skozi zgodovino v gradbeništvu narašča in kdaj upada?
3. Kaj velja za opisno geometrijo?
4. Kaj so ključne vloge grafike pri inženirskem snovanju?
5. V grobem orišite časovni potek razvoja CAD in BIM orodij.
6. Kakšne so prednosti in slabosti 2D risb glede na 3D modele?
7. Kakšne so prednosti in slabosti 3D modelov glede na BIM?
8. Kakšne so prednosti in slabosti 2D risb glede na BIM?
9. Kako lahko razumemo kratico BIM, definicije BIM?
10. Razložite prednosti uporabe »inteligentnih« komponent.
11. Kakšne so prednosti avtomatiziranega generiranja risb?
12. Opišite koncept izvedbe projekta po načelu Integrated Project Delivery (IPD).



## Kazalo

Uvod v BIM .....	1
Razvoj in vloga risbe v arhitekturi in gradbeništvu .....	1
Razvoj računalniško podprtega načrtovanja .....	3
2D CAD.....	5
Prednosti 2D .....	5
Slabosti 2D.....	5
3D CAD.....	6
Prednosti 3D CAD .....	6
Slabosti 3D CAD .....	7
Informacijsko modeliranje objektov (BIM).....	7
Prednosti BIM .....	8
Slabosti BIM.....	9
Koncepti BIM .....	9
Gradbeniški in arhitekturni elementi .....	9
Na BIM temelječa dokumentacija .....	10
Numerični podatki in izračuni.....	11
Sodelovanje med udeleženci projekta .....	11
Sodelovanje znotraj projektne skupine.....	12
Usklajevanje in analize .....	14
Kordinacija gradnje.....	15
IPD (Integrated Project Delivery).....	16



## Kazalo slik

Slika 1: Ena najstarejših arhitekturnih risb iz starega Egipta (Rappoport 2003) .....	1
Slika 2: Risba arkade v naravni velikosti in izveden element, rimsko svetišče Baalbek, planota Bekaa, Libanon (Lohmann 2009).....	2
Slika 3: Mejniki v razvoju CAD (Graphisoft 2012).....	3
Slika 4: Uporaba CAD v gradbeništvu (Graphisoft 2012).....	4
Slika 5: Računalniško podprto risanje (Graphisoft 2012). ....	5
Slika 6: Avtomatsko generiranje 2D risb iz 3D modela (Graphisoft 2012). ....	6
Slika 7: Različni prikazi istega arhitekturnega elementa .....	10
Slika 8: Udeleženci procesa gradnje, ki izmenjujejo podatke o objektu z uporabo BIM (Graphisoft 2012).....	12
Slika 9: Lokalno delovno okolje udeleženca (stakeholder's workbench) (Nour et al. 2012).....	13
Slika 10: Lokalno delovno okolje – notranja arhitektura (Graphisoft 2012). ....	14
Slika 11: Analize ki jih izvajamo s podatki v BIM (Graphisoft 2012). ....	14
Slika 12: 4D in 5D modeli povežejo časovno in stroškovno komponento v BIM (Graphisoft 2012). ....	15



## Literatura

Barnes, C.F., 2007. Villard de Honnecourt: A Critical Bibliography.

CIFE, 2013. CIFE - Center for Integrated Facility Engineering. <http://cife.stanford.edu/>.

Eastman, C. et al., 2011. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors* 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Graphisoft, 2012. BIM Curriculum Lecture Notes: BIM Lecture 1 - Introduction to BIM.

Lohmann, D., 2009. Drafting and Designing. Roman Architectural Drawings and their Meaning for the Construction of Heliopolis/Baalbek, Lebanon. In *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*. Cottbus: Chair of Construction History and Structural Preservation of the Brandenburg University of Technology, pp. 959–966.

McClendon, C., 2005. *The origins of medieval architecture: building in Europe, AD 600-900*, Yale University Press.

Millon, H.A., 1997. *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo: The Representation of Architecture*, Rizzoli International Publications.

Monge, G., 1809. *Géométrie descriptive*, Pariz.

Nour, M. et al., 2012. *InPro - Overview of Information Management Applications, including object-based version management*,

Prager, F. & Scaglia, G., 2004. *Brunelleschi: studies of his technology and inventions*, Mineola, N.Y.: Dover Publications.

Pratyush, S., 2007. Evolution of the practice.

Rappoport, S., 2003. *History of Egypt, Part 12*, Kessinger Publishing.

Wikipedia, 2012. Integrated project delivery. [http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated\\_project\\_delivery](http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_project_delivery).





## Parametrično modeliranje

Načrtovanje gradbenih objektov je proces, ki vključuje strokovnjake iz različnih področji kot so: urbanizem, arhitektura, gradbeništvo, strojništvo, elektrotehnika itd. Vsaka od teh skupin strokovnjakov ima svoj pogled na podatke o gradbenem objektu, zato jih tudi različno obravnavajo. Za uspešno sodelovanje med različnimi skupinami strokovnjakov je potrebno zagotoviti ustrezno informacijsko infrastrukturo, pri čemer obstaja več možnosti. Številne iteracije v razvoju 3D CAD orodij so pokazale na smiselnost uporabe skupnega informacijskega modela objekta, ki prevzema pomembno vlogo posrednika pri zagotavljanju višje stopnje sodelovanja. Za doseganje zadostne stopnje sodelovanja morata tako biti izpolnjena naslednja pogoja:

1. ustrezna informacijska infrastruktura, ki vsebuje konsistentno zapisan geometrijski model objekta, lastnosti posameznih gradnikov in relacije med njimi ter
2. med projektnimi partnerji v gradbenem projektu vzpostavljen proces informacijskega modeliranja objektov, kar pomeni, da vsi partnerji v projektu ažurirajo podatke v informacijskem modelu objekta tako, da za opis gradbenih elementov uporabljajo gradnike z definiranimi lastnostmi in pravili njihovega obnašanja (Deutsch 2011).

Prva alineja opredeljuje predvsem tehnološke zahteve za vzpostavitev ustrezne podatkovne strukture, ki ji pravimo informacijski model objekta. Na tem mestu imamo v mislih predvsem BIM orodja, BIM strežnike itd. Njihov nekaj desetletni razvoj je omogočil pestro ponudbo programske opreme na področju BIM orodij. Številne kompleksne stavbe (Gehry 2013), načrtovane po principu informacijskega modeliranja objektov dokazujejo, da so tehnološke zahteve za vzpostavitev informacijskega modela objekta izpolnjene (Porwal & Hewage 2013; Deutsch 2011; Eastman et al. 2011). Med najbolj izpopolnjena BIM orodja uvrščamo naslednje aplikacije: Revit (Autodesk 2013), ArchiCAD (Graphisoft 2013a), Digital Project (Gehry Technologies 2013), Vectorworks (Nemetschek 2013) in Bentley Architecture (Bentley 2013).

Druga alineja opredeljuje kulturno-sociološki vidik informacijskih modelov objektov, kjer so v ospredju procesi in ne tehnologije. Pri tem je ključnega pomena, da je pri načrtovanju stavb potrebno vzpostaviti ustrezne delovne procese, ki zagotavljajo, da se uporaba BIM orodij sklada s principi informacijskega modeliranja objektov. Poudariti je potrebno, da je informacijski model objekta le posledica informacijskega modeliranja objekta in ne obratno. Razlogov za neustrezno vzpostavljene delovne procese, ki bi omogočali informacijsko modeliranje objektov je več, in sicer:

- pomanjkanje znanja o novih tehnologijah,
- zakonodaja, ki je prilagojena tradicionalnemu načinu načrtovanja in priprave dokumentacije (Porwal & Hewage 2013; Čuš Babič 2011),
- pomanjkanje iniciative pri reorganizaciji podjetji (Deutsch 2011; Čuš Babič 2011),



- kompleksnost določanja pridobitev, ki jih prinaša uporaba informacijskega modeliranja in težave pri medsebojni primerjavi različnih pristopov zaradi različnih tehnik merjenja (Barlish & Sullivan 2012),
- itd.

Tako smo danes priča porastu vpeljevanja najnovejših BIM orodij, a načrtovanje poteka še vedno na tradicionalni način, četudi ta ista orodja omogočajo načrtovanje najzahtevnejših stavb, kjer je potrebno zagotoviti sodelovanje precejšnjega števila različnih strokovnjakov (Gehry 2013). Razlog za takšno situacijo je v prekomernem usmerjanju naporov k nenehnemu tehnološkemu izboljševanju orodij (tj. tehnološki determinizem) in zelo malo ali skoraj nič v posodabljanje procesov za načrtovanje gradbenih objektov (Čuš Babič 2011; Deutsch 2011; Nour et al. 2010). V literaturi je moč zaslediti vse več poudarkov, da je potrebno napore pri načrtovanju gradbenih objektov bolj intenzivno usmerjati v preoblikovanje obstoječih in vzpostavljanje novih delovnih procesov. Le tako bosta pri načrtovanju gradbenih objektov lahko izpolnjena oba pogoja, tj. tehnološki in kulturno-sociološki (Deutsch 2011), ki omogočata vzpostavitev ustrezne osnove za doseganje visoke stopnje sodelovanja, ki jo lahko opredelimo skozi tri ravni komunikacije, in sicer:

1. med gradniki informacijskega modela objekta,
2. med člani delovne skupine (glej poglavje [Sodelovanje znotraj projektne skupine](#)) in
3. med partnerji v gradbenem projektu (glej poglavje [Sodelovanje med projektnimi partnerji v gradbenem projektu](#)).

Z uporabo ustreznih načinov in postopkov pri načrtovanju gradbenih objektov je poleg geometrijskih lastnosti mogoče posameznim geometrijskim elementom določiti:

1. lastnosti, ki določajo njihovo obnašanje (tj. material, barva itd.) in
2. definirati relacije med geometrijskimi telesi v modelu (npr. kako vpliva sprememba enega geometrijskega telesa na ostale, ki so v relaciji z njim).

Tako definiranim elementom pravimo inteligentni gradniki ali inteligentne komponente (*ang. intelligent component*). Komponente je mogoče izdelati, definirati in uporabiti v sodobnih orodjih za informacijsko modeliranje objektov. Načinu modeliranja, kjer se med gradniki v modelu določajo relacije in kjer relacije določajo tudi pravila obnašanja gradnikov, pravimo parametrično modeliranje (*ang. parametric modeling*). Takšen način modeliranja predstavlja zgolj potreben pogoj za vzpostavitev informacijskega modela objekta (Eastman et al. 2011; Deutsch 2011; Nour et al. 2010).

## Geometrijske predstavitve

Geometrijske elemente je mogoče definirati na različne načine in posledično tudi zapisati z različnimi definicijami, katerim pravimo geometrijske predstavitve. Razvoj geometrijskega modeliranja je postregel z veliko množico različnih geometrijskih predstavitev, ki so bile bolj ali manj uspešno uporabljene v različnih modeliranih, tako na področju strojništva, gradbeništva, arhitekture itd. Poudariti je potrebno,



da je izbira geometrijske predstavitve odvisna predvsem od zahtevanih metod za manipulacijo geometrijskih elementov.

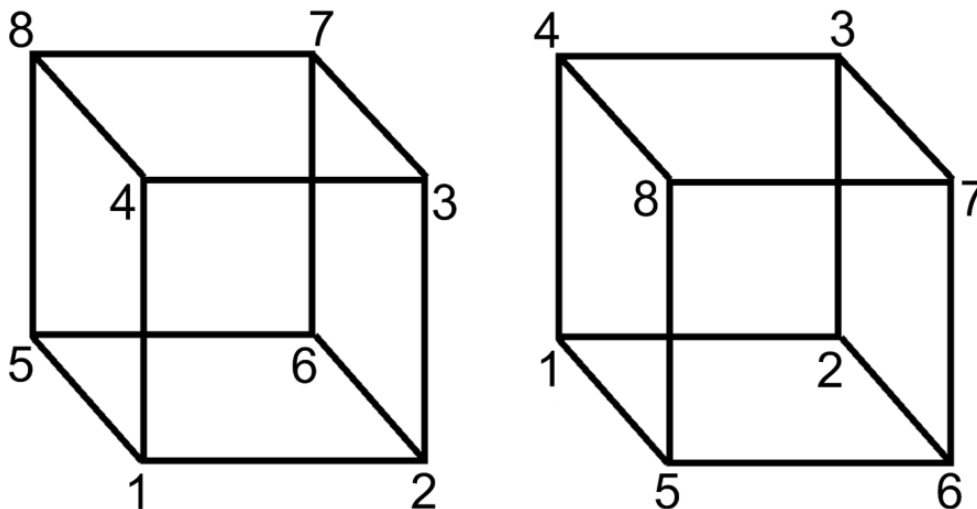
V orodjih za računalniško podprto načrtovanje v inženirstvu sta najbolj uveljavljeni geometrijski predstavitvi:

- metoda temeljnih gradnikov (*ang. constructive solid geometry – CSG*) in
- predstavitev z ovojnico (*ang. boundary representation – B-rep*).

Pomembna lastnost obeh omenjenih geometrijskih predstavitev je, da geometrijski elementi izpolnjujejo pogoj zaprtosti, kar omogoča določanje osnovnih prostorskih lastnosti, kot sta prostornina in površina (Eastman et al. 2011). V nadaljevanju je na kratko opisana geometrijska predstavitev, ki se za prikaz 3D geometrijskih teles pojavila najprej, tj. predstavitev z žičnim modelom, nato pa sledita opisa obeh omenjenih geometrijskih predstavitev.

### Predstavitev z žičnim modelom

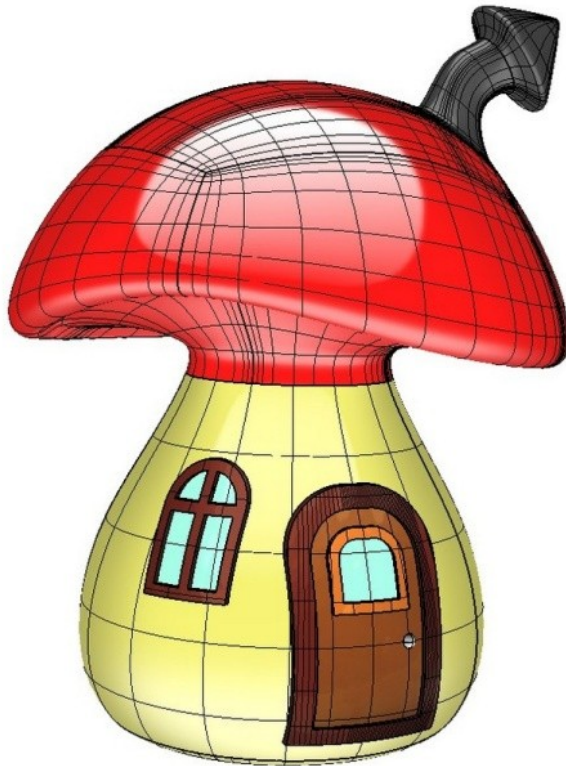
Za predstavitev modela v treh dimenzijah lahko uporabimo le najbolj osnovne gradnike kot so točka, daljica in krožni lok. Gradnike prostorsko opredelimo v vseh treh dimenzijah, npr. točko opišemo s koordinatami  $x$ ,  $y$  in  $z$ . Ker za predstavitev uporabljamo le točke in črte, je predstavitev na videz podobna fizičnemu modelu, ki bi ga ustvarili iz žice. Zato takšno predstavitev imenujemo predstavitev z žičnim modelom (*ang. wireframe model*), ki ga prikazuje slika 1. Zaporedne številke določajo dve vzporedni ploskvi kocke, s čimer je mogoče določiti orientacijo modela.



Slika 1: Primer žičnega modela kocke. Če ploskve modela niso definirane, potem ni mogoče enoumno določiti orientiranosti kocke.

### Geometrijska predstavitev z ovojnico

Predstavitev z žičnim modelom omogoča le določitev sosednosti točkam v prostoru, torej povezav med točkami, kar imenujemo topologija. Geometrijsko telo s tako skromno definirano topologijo ni mogoče nedvoumno predstaviti. Zato je poleg točke in črte potrebno določiti še ploskve, oziroma bolj natančno povedano, definirati je potrebno lica objekta. Šele modelu z definiranimi lici, ki so napeta na robove, je mogoče določiti katere točke v prostoru se nahajajo v notranjosti telesa in katere so zunaj. Lica torej predstavljajo mejo med telesom in okolico. Lahko si predstavljamo, da je geometrijsko telo kot prazna škatla, pri tem pa stranice te škatle nimajo debeline. Takšno predstavitev imenujemo predstavitev z ovojnico (*ang. boundary representation – BREP*). Primer geometrijskega telesa, kjer je uporabljena geometrijska predstavitev z ovojnico prikazuje slika 2.



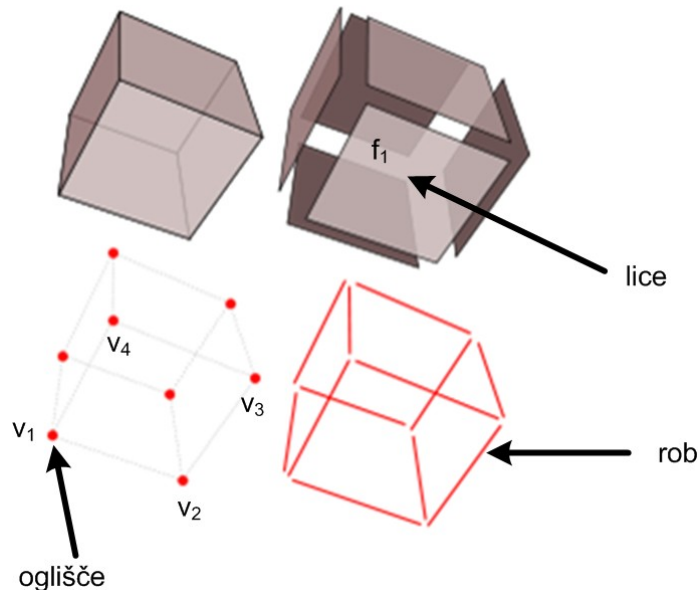
Slika 2: Primer geometrijskega telesa, kjer je uporabljena predstavitev z ovojnico (Craftsmanspace 2013).

Za predstavitev lic ni dovolj določiti le sosednosti točk. Potrebujemo še nekaj dodatnih informacij in ena možnost definiranja lic je, da določimo sosledje točk in robov, kot si sledijo pri obhodu enega lica. Podrobnosti zapisovanja topologije presegajo obseg tega poglavja. Omenimo le, da lahko na tak način opišemo le ravna lica objekta, neravnine pa aproksimiramo z večjim številom ravnih segmentov. Če bi želeli natančno opisati ovojnico poljubne ukrivljenosti, torej brez aproksimacije z ravnimi lici, bi za zapis potrebovali še več informacij.



## Primer 1

Ilustrirajmo, kako bi lahko zapisali lice kocke, ki jo prikazuje slika 3. Lice  $f_1$  lahko določimo z oglišči  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  in  $v_4$ . Pri tem upoštevamo dogovor, da si oglišča, ki določajo lice, sledijo v so-urni smeri, če kocko gledamo od zunaj. Če velja to pravilo, potem lahko lice  $f_1$  zapišemo kot zaporedje oglišč ( $v_4$ ,  $v_3$ ,  $v_2$ ,  $v_1$ ). Nato pa za vsako oglišče zapišemo še geometrijo. Oglišče za pišemo kot točko v prostoru s koordinatami  $x$ ,  $y$  in  $z$ , torej za primer oglišča  $v_1$  bi zapisali  $v_1(x_1, y_1, z_1)$ .



Slika 3: Lice, rob in oglišče na primeru kocke (waelbi 2009).

### Lastnosti predstavitev z ovojnico

Dobre lastnosti predstavitev z ovojnico lahko zberemo v naslednjih ugotovitvah, ki jih povzemamo po (Žalik 1999). Glede na metodo temeljnih gradnikov, ki jo predstavljamo v nadaljevanju, podpira več tehnik za tvorjenje telesa (Boolovi operatorji, Eulerjevi operatorji, pomikanje). Spremembe je zelo učinkovito mogoče izvajati lokalno s spremembami geometrijskih lastnosti posameznih oglišč. Ker so v podatkovni strukturi lica eksplicitno opisana, je mogoče vsakemu licu posebej pripisati tudi druge lastnosti, npr. barvo in material. Oblikujemo lahko poljubne ploskve in telesa, hkrati pa je omogočen hiter dostop do geometrijskih podatkov, ki jih potrebujemo za izrisovanje.

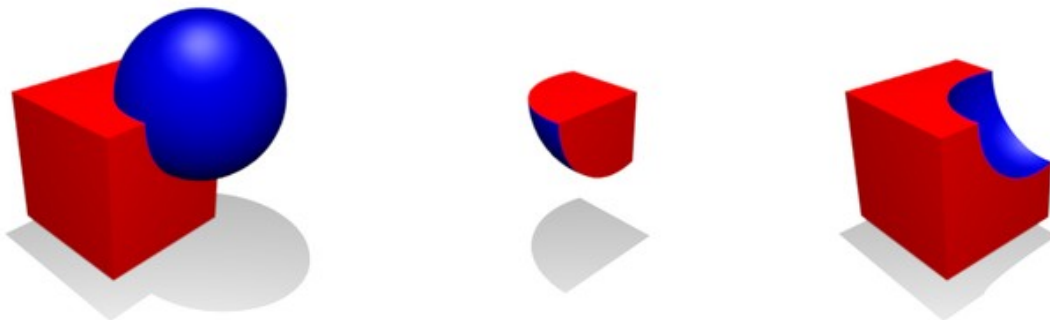
Slabosti predstavitve z ovojnico pa so, da v primerjavi z metodo temeljnih gradnikov potrebuje bistveno več pomnilniškega prostora za predstavitev enakih modelov. V fazi modeliranja lahko ustvarimo tudi neveljavna telesa, zato moramo zaradi zagotavljanja pravilnosti topologije uporabljati Eulerjeve operatorje.



### Metoda temeljnih gradnikov

Kompleksnejša geometrijska telesa je mogoče ustvariti in sestaviti tudi iz preprostejših teles. Tako je iz nabora nekaj preprostih geometrijskih teles, npr. paralelepiped, valj, stožec, krogla in torus mogoče zgraditi skoraj poljubno geometrijsko telo. Izkazalo se je, da omenjeni nabor osnovnih gradnikov že zadostuje za pokrivanje okrog 90% vseh zahtev v strojništvu (citirano v (Žalik 1999)). Takšnemu pristopu k opisovanju geometrije pravimo metoda temeljnih gradnikov (*ang. Constructive Solid Geometry – CSG*). Naboru teles, ki so podana kot osnovna, pa pravimo temeljni gradniki.

Kompleksnejša geometrijska telesa so sestavljena iz temeljnih gradnikov z uporabo Boolovih operacij. Boolove operacije temeljijo na teoriji množic. Geometrijska telesa, s katerimi se pri grajenju modela ukvarjamo, so namreč vedno definirana kot zaprte množice točk. Med operatorje prištevamo unijo, presek in razliko. Sestavljeni gradniki se lahko znova uporabijo kot vhodni gradnik naslednje operacije. Zaporedje izvajanja operacij je pomembno, saj različna zaporedja Boolovih operatorjev določajo različne končne rešitve. Izhajajoč iz temeljnih gradnikov, ki določajo končno geometrijo modela, so zraven Boolovih operatorjev potrebne tudi osnovne geometrijske operacije, in sicer: skaliranje, premik in zasuk. Uporaba Boolovih operatorjev, temeljnih gradnikov in osnovnih geometrijski transformacije je prikazana na sliki 4. Prvi primer (slike 4 – levo) prikazuje Boolovo operacijo unija med kocko in kroglo, na sredini je prikazan rezultat Boolove operacije presek, tretji primer (slika 4 – desno) pa prikazuje rezultat Boolove operacije razlika. V vseh treh primer so bili uporabljeni isti temeljni gradniki.

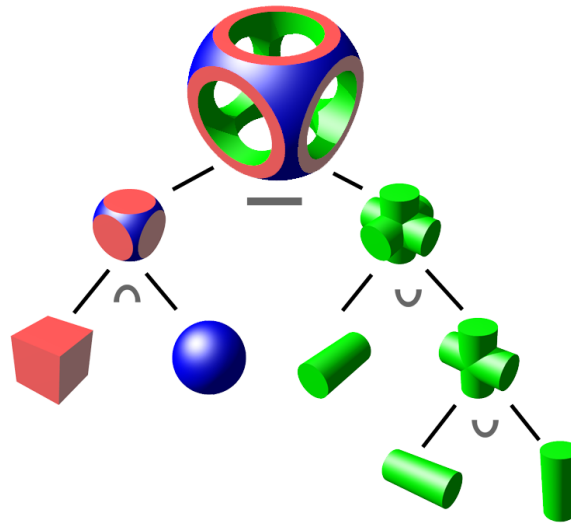


Slika 4: Boolove operacije nad temeljnima gradnikoma kocka in krogla; levo – Boolova operacija unija, sredina – Boolova operacija presek in desno – Boolova operacija razlika (Wikipedia 2013).

Celoten model lahko zapišemo v obliki dvojiškega drevesa, kot prikazuje slika 5, kjer listi drevesa predstavljajo temeljne gradnike, vozlišča pa predstavljajo operatorje ali geometrijske transformacije. Takšen zapis opisuje tudi zaporedje postopka grajenja modela. Končni model v eksplicitni obliki ni zapisan in pravimo da njegove meje niso določene (*ang. unevaluated*). Zato ga moramo za potrebe vizualizacije ali drugih opravil vedno znova preračunati, oz. sestaviti glede na postopek, ki ga opisuje drevo. Težave takšne geometrijske predstavitve se pojavijo pri senčenju in skrivanju robov, saj je potrebno določiti zunanje meje telesa, oziroma definirati lica, ki omejujejo telo. Po vsaki spremembi



geometrijskega telesa je potrebno vedno znova določiti končno geometrijo in izračunati zunanjo površino telesa, kar pa je zamudno, še zlasti v primeru velikega števila temeljnih gradnikov in operacij.



Slika 5: Boolove geometrijske transformacije predstavljene v obliki grafa (Wikipedia 2013).

Zaradi zamudnega preračunavanja geometrije nekateri modelirniki tvorijo interne podatkovne strukture, v katerih hranijo določene (*ang. evaluated*) meje telesa, podobno kot je to izvedeno pri predstavitvi z ovojnico.

### *Lastnosti metode temeljnih gradnikov*

Metoda temeljnih gradnikov je enostavna za razumevanje, prostorsko nezahtevna in vedno generira pravilna telesa. Po drugi strani pa je njena slabost, da je konstruiranje omejeno le na Boolove operatorje. Telesa ni mogoče definirati npr. s pomikanjem (*ang. sweeping*). Tudi lokalne operacije, ki se s pridom uporabljajo pri predstavitvi z ovojnico in omogočajo enostavno premikanje posameznih točk v modelu, pri predstavitvi s temeljnimi gradniki niso možne. Končni model in njegovi deli (stranice, robovi) niso eksplicitno izraženi, zato jim je težko pripisati druge lastnosti, kot sta npr. material ali barva. Omejitve temeljnih gradnikov, ki izhajajo iz načina na katerega so bili ti gradniki definirani, izhaja tudi, da z metodo temeljnih gradnikov ni mogoče opisati poljubnega geometrijskega telesa, saj ni vedno mogoče opisati parametričnih ploskev poljubnih oblik. Način definiranja temeljnih gradnikov je opisan v knjigi Geometrijsko modeliranje (Žalik 1999), a presega obseg tega besedila.

### **Uporaba obeh geometrijskih predstavitev**

Obe geometrijski predstavitvi imata svoje prednosti in omejitve. Izkazalo se je, da se obe geometrijski predstavitvi zelo dobro dopolnjujeta in prav zaradi tega sta pogosto sočasno uporabljeni v geometrijskih modelirnikih (Eastman et al. 2011).



Navedeni predstavitvi (pa tudi ostale) je mogoče med seboj tudi zamenjevati, npr. predstavitev z ovojnico zamenjamo s predstavitvijo CSG. V tem primeru mora biti definirana preslikava med predstavitvami, pri čemer pretvorbe niso vedno popolnoma točne. Osnovna težava se pojavi pri poljubnem telesu, ki ga ni mogoče opisati z metodo temeljnih gradnikov, s predstavitvijo z ovojnico pa je to mogoče. Iz tega izhaja, da natančna preslikava zaradi narave obeh zapisov ni mogoča. Predstavitev z ovojnico je informacijsko popolna, zato nekateri avtorji smatrajo, da CSG predstavitev sploh ni potrebna. Tudi hitrost algoritmov se pri obeh predstavitev bistveno ne razlikuje. Pri tem pa CSG predstavitev npr. ne omogoča lokalnih sprememb, ki so pri praktičnem delu pogoste in zaželeni.

Po drugi strani zagovorniki kombiniranih predstavitev izpostavljajo prednosti metode temeljnih gradnikov, saj je le-ta zelo preprosta in zagotavlja, da so telesa vedno veljavna. Ob tem pa so algoritmi za pretvorbo iz CSG v predstavitev z ovojnico zanesljivi. Prav tako ima metoda temeljnih gradnikov prednosti pri določenih operacijah, kot je določanje volumna in drugih fizikalnih lastnosti končnega modela.

## Tehnike modeliranja

V poglavju [Uvod v BIM](#) je predstavljen zgodovinski razvoj računalniško podprtega načrtovanja (tj. od 2D načrtovanja pa vse do informacijskega modeliranja objektov), kjer so na kratko opisane prednosti in omejitve posameznih pristopov, kot so 2D načrtovanje, 3D načrtovanje, ... , informacijsko modeliranje objektov. Ena od ključnih tehnik je parametrično modeliranje, ki omogoča ustvarjanje in manipuliranje z geometrijskimi telesi na višjem abstraktnem nivoju. To pomeni, da proces načrtovanja ne temelji na neposrednem spreminjanju geometrije ampak se geometrijske lastnosti telesa določijo s parametri. Iz tega sledi tudi osnovna ideja parametričnega pristopa, ki temelji na principu enkratnega definiranja parametrov geometrijskega telesa, ki se nato poljubno mnogokrat uporabi v procesu načrtovanja. Posameznemu parametriziranemu geometrijskemu telesu pravimo tudi gradnik ali inteligentna komponenta<sup>1</sup> in smo njene značilnosti opisali že zgoraj. Osnovna značilnost gradnika je, da predstavlja bistvene lastnosti določene skupine gradbenih elementov.

Za lažjo predstavitev prednosti in pomena parametričnega modeliranja geometrijskih teles so v nadaljevanju opisani nekateri pomembnejši pristopi, ki so se uporabljali v posameznih obdobjih razvoja geometrijskega modeliranja. Opisi tehnik modeliranja so v nadaljevanju osredotočeni izključno na modeliranje v 3D prostoru, čeprav so nekatere tehnike bile bolj uporabljaje za modeliranje v 2D prostoru, npr. izdelava žičnih modelov.

## Izdelava žičnih modelov

V procesu izdelave žičnih modelov se uporabljajo le najbolj osnovni gradniki kot so: točka, daljica in krožni lok. Osnovna ideja takšnega modeliranja temelji na določanju 3D točk in njihovem medsebojnem povezovanju s daljicami in krožnimi loki. Rezultat takšnega modeliranja so modeli, predstavljeni le s točkami ter črtami in njihov videz spominja na fizični model iz žic, kot prikazuje slika 6. Prav zaradi omenjene podobnosti se takšen model imenuje žični model, tehnika za izdelavo žičnega modela pa žično

<sup>1</sup> Za gradnik ali inteligentno komponento se v računalništvo uporablja izraz razred ali družina.





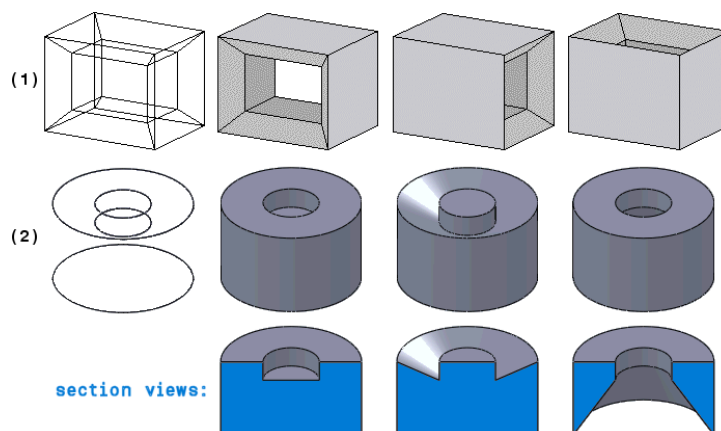
modeliranje (*ang. wireframe modeling*). Omejena tehnika je tudi prva, ki je bila uporabljena za 3D modeliranje.



Slika 6: Primer žičnega modela hiše (Behar 2010).

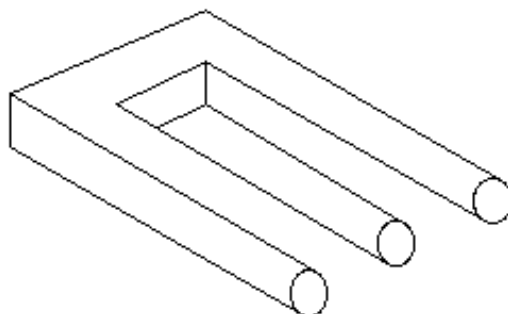
Prednost žičnih modelov je izjemno preprosto izrisovanje na zaslon, ki ne zahteva velikih računalniških kapacitet. Struktura žičnega modela precej poenostavljeno opisuje geometrijskega telesa, saj ne vsebuje zadostnih informacij za izvajanje algoritmov računalniške grafike kot so zakrivanje robov, zakrivanje stranic in senčenje. Prav tako ni mogoče določati fizikalnih in geometrijskih lastnosti kot so prostornina, težišče in masa (Lockhart & Johnson 2000; Žalik 1999). Naštete omejitve so posledica nedefiniranih ploskev, saj predstavitev temelji izključno na zapisovanju in določanju robov.





Slika 7: Dvoumna predstavitev telesa z žičnim modelom; žični model (levo) in možne interpretacije (desno) (Leigh 2009).

Zaradi nedefiniranih ploskev žični model ne more nedvoumno opisovati geometrijskega telesa in zato tudi ni mogoče nedvoumno sklepati kateri poligoni predstavljajo ploskve in kateri odprtine. Na sliki 7 so prikazani primeri dvoumnih predstavitev z žičnim modelom. Zraven dvoumne predstavitve je mogoče žični model izdelati tako, da opisuje nesmiselno telo, kateremu sploh ni mogoče določiti ploskev (Žalik 1999). Takšen primer prikazuje slika 8.



Slika 8: Žični model, ki definira nesmiselno telo.

Kljub navedenim pomanjkljivostim so žični modeli za določena opravila koristni. Omogočajo npr. prikaz prostorskih konfliktov pri načrtovanju inštalacij. Za opravila, kjer bi žični model zadoščal, ni smotno izdelovati celovitega modela na drug način. Seveda pa je potrebno poudariti, da to velja samo, če izhajamo iz predpostavke, da bomo za vsako opravilo izdelali poseben model. Če upoštevamo principe informacijskega modeliranja objektov, je grajenje žičnih modelov nesmiselno. Težimo namreč k temu, da bo model uporaben za različne namene in ga bomo lahko v procesih načrtovanja in grajenja večkrat uporabili. Vse prikaze, ki jih omogoča predstavitev z žičnim modelom, lahko pripravimo tudi iz drugih, bogatejših predstavitev. Na tem mestu je potrebno opozoriti, da prikaz žičnega modela v smislu vizualizacije ni enako kot predstavitev z žičnim modelom v smislu geometrijskega modeliranja. Slednje pomeni, da je model v računalniku predstavljen kot zbirka točk, od katerih so nekatere med seboj

povezane s črtami in le te informacije o modelu hranimo. Omejitve nato izhajajo iz pomanjkanja informacij, ki jih o modelu imamo na razpolago. Seveda pa lahko, ne glede na predstavitveno metodo, model na zaslonu prikažemo kot žični, tudi če za shranjevanje podatkov in grajenje internih podatkovnih struktur uporabljamo druge geometrijske predstavitve.

### Modeliranje ploskovnih teles

Ključna težava žičnih modelov je njihova dvoumna predstavitev zaradi nedefiniranih ploskev. Iz tega izvirajo številne omejitve, ki smo jih že našli (glej podpoglavje Izdelava žičnih modelov). Modeliranje ploskovnih teles je tehnika modeliranja, ki nadgrajuje pristop žičnega modeliranja tako, da topologija, zraven povezav med točkami, določa tudi ploskve. Ena izmed pomembnih lastnosti ploskev je orientiranost, ki omogoča ločevanje notranjosti geometrijskega telesa in njegove okolice.

Vizualna predstavitev ploskovnega modela zaradi definiranih ploskev omogoča vrsto vizualnih učinkov, kot so: senčenje, metanje senc, teksture, zakrivanje nevidnih ploskev itd. Ploskovno modeliranje je v splošnem omejeno predvsem na določanje zunanosti geometrijskih teles in opisovanje njihovega izgleda. Takšna nadgradnja postopka izdelave žičnih modelov povsem zadostuje za oblikovanje in vizualizacijo raznovrstnih produktov, tudi gradbenih objektov (Lockhart & Johnson 2000). Podobno kot izdelavi žičnih modelov je tudi modeliranje ploskovnih teles iz stališča informacijskega modeliranja objektov nesmiselno, saj je omejeno izključno na opisovanje vizualnih lastnosti obravnavanega geometrijskega telesa ali modela. Koncept informacijskega modeliranja gradbenih objektov pa poleg vizualnih lastnosti gradbenega objekta, vključuje še številne opisne in fizikalne lastnosti posameznih gradbenih elementov, kot so: kvaliteta, cena, materiali itd.

Ploskve v ploskovnem modelu so lahko definirane na različne načine in od tega je odvisno koliko svobode pri ustvarjanju različnih geometrijskih teles lahko modelirnik omogoča. Za opis kompleksnih ploskev prostih oblik je najprimernejša geometrijska predstavitev z ovojnico – BREP (glej podpoglavje Geometrijska predstavitev z ovojnico). Pri tem se lahko uporabijo različne metode za definiranje ploskev, in sicer:

1. z vlečenje in vrtenjem (*ang. extruded and revolved*),
2. s poligonalnimi mrežami (*ang. meshes*) ali
3. s prosto oblikovanimi ploskvami (*ang. free-form surfaces*).

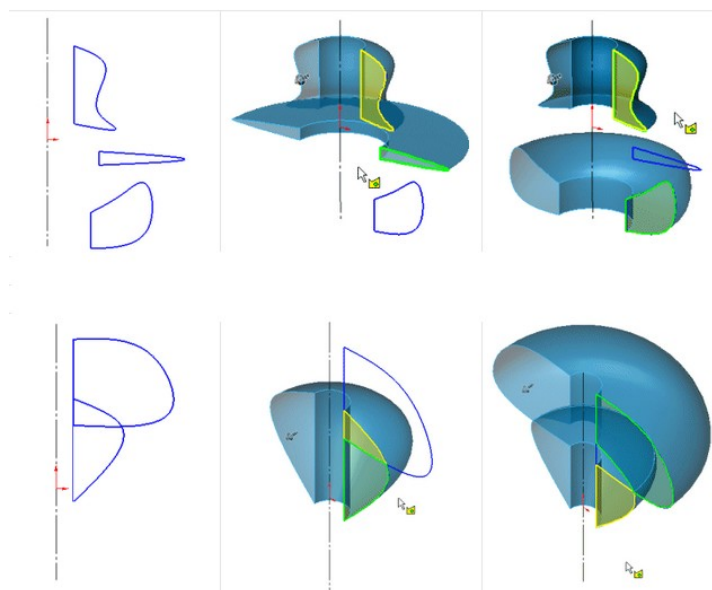
Od definicije ploskev je v veliki meri odvisna tehnika modeliranja geometrijskih objektov in posledično tudi rezultat modeliranja. V nadaljevanju so na kratko opisane tri najbolj pogosto uporabljene definicije ploskev.

### Vlečenje in vrtenje

Kreiranje ploskev z vlečenjem in vrtenjem je sestavljeno iz dveh korakov. V prvem koraku se določi profil modeliranega telesa v 2D ravnini, ki je lahko opisan s poligonom ali krivuljo. V drugem koraku pa se profil



iz prvega koraka uporabi kot osnova za vlečenje ali vrtenje. Primere tako izdelanih ploskovnih teles prikazuje slika 9, kjer sta prikazana dva primera z vrtenjem.



Slika 9: Določanje ploskev s pomočjo vrtenja (Systèmes Dassault 2013).

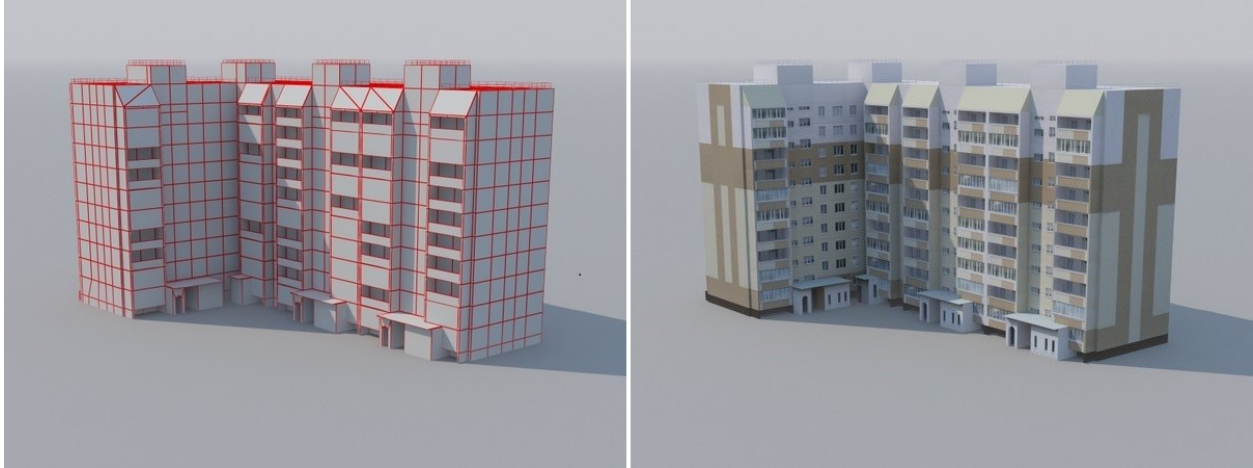
Metoda ploskovnega modeliranja z vlečenjem in vrtenjem je preprosta in hitra. Žal pa ne omogoča oblikovanja kompleksnih ali poljubnih oblik, saj je proces modeliranja omejen zgolj s profilom (slika 9 – levo) in z dvema transformacijama tj. vlečenjem ali vrtenjem.

### Poligonalna mreža

V primeru 1 je ilustrativno prikazan opis geometrijskega telesa, kjer je uporabljena geometrijska predstavitev z ovojnico. Pri tem ne smemo pozabiti na pomembno poenostavitev, saj zapis enolično omogoča le predstavitev objektov, ki so omejeni z ravnimi ploskvami (glej sliko 3 za primer 1 in sliko 10). V splošnem predstavitev z ovojnico omogoča enoličen zapis poljubnega geometrijskega telesa. Predpostavili smo namreč, da so točke med seboj povezane z ravnimi robovi in da so lica ravna. Takšnemu zapisu pravimo predstavitev s poligonalno mrežo (*ang. mesh*). Ker morajo biti vsa lica na obravnavanem objektu ravna, posledično velja, da morajo tudi vsa oglišča, ki obdajajo isto lice, ležati v isti ravnini. Zato večkrat mreže sestavljamo iz trikotnikov, saj so tri oglišča vedno v ravnini. Takšnim mrežam pravimo nepravilne trikotniške mreže (*ang. triangulated irregular network – TIN*). Nepravilne jih imenujemo zato, ker jih sestavljajo trikotniki, ki med seboj niso enaki.

Posledica predstavitve objekta s poligonalnimi mrežami je, da s takšnim načinom zapisa podatkov ni mogoče natančno opisati teles omejenih z ukrivljenimi ploskvami. Večjo natančnost lahko dosežemo z manjšanjem velikosti lic, kar hkrati pomeni tudi večanje števila oglišč. Zaradi tega se izjemno poveča

količina podatkov, potrebnih za opis objekta, ki jih je potrebno hraniti in obdelovati. S tem pa se povečajo tudi zahteve glede potrebne strojne opreme.

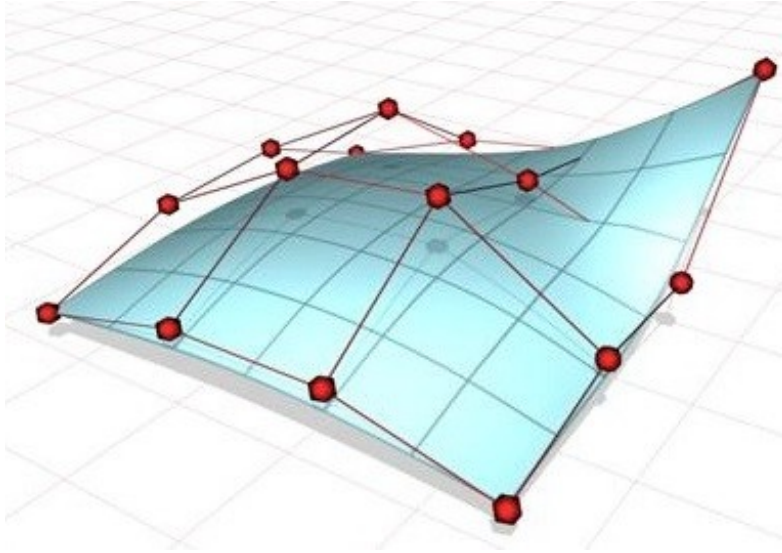


Slika 10: Predstavitev gradbenega objekta s poligonalno mrežo; levo - s poligoni omejene ploskve in desno - definirane ploskve s določenimi lastnostmi, npr. barva (TurboSquid 2013).

### *Prosto oblikovane ploskve*

Kot smo omenili že v uvodu, lahko ovojnico modela opišemo tudi s poljubnimi ploskvami. Pri geometrijskem modeliranju za zapis ploskev uporabljamo parametrične predstavitve ploskev. Ploskve lahko parametrično zapišemo na veliko načinov, vendar so v praksi najpogosteje uporabljene Hermitove in Bezierjeve ploskve ter ploskve B-zlepkov in ploskve NURBS (*ang. non-uniform rational B-spline*) (Guid 2001; Žalik 1999). Za te ploskve je značilno, da jih opisujemo s kontrolnimi točkami, zato je njihova ukrivljenost podana implicitno. Posledica tako definiranih ploskev je manjše število ravnih ploskev, saj je prosto ukrivljena ploskev prikazana kot aproksimacija kontrolnih točk, kot prikazuje slika 11.





Slika 11: Prikaz ploskve NURBS, ki jo določa 16 kontrolnih točk (IPS Community n.d.).

Za bolj natančno oblikovanje površine tudi v tem primeru potrebujemo večje število kontrolnih točk, vendar je njihovo število v primerjavi s številom potrebnih točk v poligonalni mreži bistveno manjše, kar vpliva na velikost modela in posledično na zmogljivost sistema (Lockhart & Johnson 2000).

### Modeliranje trdnih teles

Metoda ploskovnega modeliranja nadgrajuje metodo izdelave žičnih modelov z definiranjem ploskev, s čimer so odpravljene nekatere omejitve le-teh (npr. dvoumnost), hkrati pa še vedno ni mogoče določiti nekaterih lastnosti modela, ki bi v celoti opisovale fizikalne lastnosti modeliranega objekta. Zato se je pojavila potreba po dodatni definiciji volumna geometrijskih teles, ki jo vpeljuje metoda modelirana trdnih teles (*ang. solid modeling*).

Modelirniki, ki omogočajo modeliranje trdnih teles, so kategorizirani glede na uporabljeno geometrijsko predstavitev (Leigh 2009). V glavnem je v geometrijskih modelirnikih za modeliranje trdnih teles uporabljena geometrijska predstavitev ovojnice ali pa metoda temeljnih gradnikov. V zadnjem času pa geometrijski modelirniki podpirajo tudi hibridni način, ki je kombinacija obeh principov.

Prednosti in omejitve posamezne geometrijske predstavitve so že prehodno opisane v podpoglavju Geometrijske predstavitve. Večina sodobnih modelirnikov deluje v hibridnem načinu in geometrijski model objekta shranjujejo na oba načina, tj. BREP in CSG. Takšen način delovanja uporabniku po eni strani omogoča dostop do osnovnih gradnikov modela in zaporedja Boolovih operacij, po drugi strani pa dobro definira geometrijski model z ovojnico, ki mogoča enostavno izvajanje lokalnih operacij in transformacij (npr. premik posamezne točke v modelu).



Kompleksnosti modelirnika se precej poveča, če poleg geometrijskih omogoča tudi opis fizikalnih lastnosti (npr. prostornina). Hkrati se poveča tudi zahtevnost samega procesa modeliranja. Zaradi omenjenega povečanja kompleksnosti je smiselno modelirnik ločiti na naslednja sestavna dela:

- jedro geometrijskega modelirnika, ki vsebuje programske knjižnice z metodami, postopki in algoritmi za manipulacijo geometrijskih modelov in
- aplikacijo, ki omogoča fleksibilen in učinkovit proces modeliranja, prilagojen posameznim skupinam inženirjev.

Jedro geometrijskega modelirnika (*ang. modeling kernel*) vsebuje programske knjižnice z različnimi metodami in algoritmi za izdelavo in manipulacijo geometrijskih teles. Razvoj jedra geometrijskega modelirnika je izključno v domeni strokovnjakov iz področja računalništva, ki se ukvarjajo z geometrijskim modeliranjem in optimizacijo algoritmov. Običajno se njihova znanja koncentrirajo v programskih paketih, ki vsebujejo knjižnice z algoritmi, katere so preizkušeno optimizirane in zanesljive. Vodilna programska paketa na področju geometrijskega modeliranja sta ACIS (Corp. Spatial 2013) in Parasolid (3D Tech Soft 2013), ki ju uporabljajo številna orodja za geometrijsko modeliranje tako iz področja gradbeništva in arhitekture, kot tudi iz strojništva ter ostalih področji.

Drugi del pa predstavljajo aplikacije, ki uporabljajo izbrano jedro modelirnika in se osredotočajo na razvoj:

- procesov modeliranja pri načrtovanju geometrijskih teles,
- ustreznih grafičnih uporabniških vmesnikov in
- okolja za sodelovanje.

Zaradi široke palete zahtev uporabnikov iz različnih strok (npr. strojništvo, gradbeništvo, arhitektura itd.) so se aplikacije specializirale. Posledica takšne specializacije so namenski modelirniki za posamezna področja, ki pa lahko uporabljajo isti programski paket knjižnic za geometrijsko modeliranje ali povedano drugače, delujejo na istem jedru. Da bi lahko uporabnik izkoristil prednosti posameznih orodji mora poznati glavne koncepte geometrijskega modeliranja, ni pa mu potrebno poznati metod in algoritmov jedra geometrijskega modelirnika (Lockhart & Johnson 2000). Za uspešno načrtovanje je tako potrebno podrobno poznavanje uporabljene aplikacije oz. orodij in konceptov geometrijskega modeliranja.

### **Uporabnost 3D modelov trdnih teles**

Iz informacijskega vidika je modeliranje trdnih teles nadgradnja predhodnih pristopov, tj. izdelava žičnih modelov in ploskovno modeliranje, saj zraven osnovne topologije in definicij ploskev, modeli trdnih teles omogočajo določanje volumnov. Dodatne informacije o geometrijskih telesih omogočajo predvsem opis fizikalnih lastnosti. Osnovni opis topologije, definirane ploskve telesa in določljivi volumni omogočajo izvajanje različnih simulacij in fizikalnih analiz geometrijskega telesa. Oboje ima pomembno vlogo pri načrtovanju. S simulacijami je mogoče že v fazi načrtovanja ugotoviti in določiti različne vplive na modelirani geometrijski objekt. Način načrtovanja z izvajanjem različnih simulacij omogoča reševanje in



odpravljanje napak v fazi načrtovanja, ki bi se sicer pojavile na gradbišču v fazi gradnje. Reševanje nepredvidenih problemov na gradbišču zaradi napak v načrtovanju je manj učinkovito, dražje in podaljša čas gradnje.

Fizikalne analize geometrijskih modelov imajo prav tako pomembno vlogo, saj omogočajo določevanje mnogih fizikalnih lastnosti posameznih geometrijskih teles oz. elementov in s tem tudi modela že v fazi načrtovanja. Takšne analize se izvajajo tudi na področju gradbeništva, s čimer je mogoče določiti fizikalne lastnosti gradbenih objektov še pred pričetkom gradnje, npr. določitev stroškov ogrevanja stavbe, ki izhajajo iz analize energetske učinkovitosti.

### Parametrično modeliranje

Žični modeli so definirani s točkami in topologijo, ki določa njihovo medsebojno povezanost. Ključna omejitev žičnih modelov je dvoumna predstavitev, saj povezave med točkami ne zadoščajo za enoumno določitev ploskev. V topologijo modela so dodane še definicije ploskev in tako so nastali ploskovni modeli. Ploskovni modeli omogočajo vizualizacijo geometrijskih teles (senčenje, metanje senc itd.), vendar zaradi pomanjkljivega opisa fizikalnih lastnosti niso primerni za izvajanje različnih analiz in simulacij. Slednje je mogoče izvajati šele nad modeli trdnih teles, ki vsebujejo zadostne opise fizikalnih lastnosti posameznih geometrijskih teles, npr. volumne. Obstoječemu konceptu modeliranja trdnih teles je s principom parametričnega modeliranja dodana tudi inteligenca na nivoju posameznih geometrijskih teles, ki jih imenujemo inteligentne komponente ali gradniki.

Skozi razvoj geometrijskega modeliranja, kot znanstvene discipline, so se razvijale tudi metode in koncepti modeliranja kot procesa. Uvajanje novih konceptov modeliranja zahteva tudi določene spremembe v načinu načrtovanja, pri čemer se venomer pojavljajo različni vidiki, ki jih je potrebno upoštevati (npr. učinkovitost, dobičkonosnost, kvaliteta gradnje itd.). Da so različni vidiki tudi upoštevani, mora proces načrtovanja prevzeti osrednjo povezovalno vlogo. Takšna procesna transformacija zahteva, ne le da se načrtovalec distancira od risanja črt, ampak je njegova osrednja vloga pri načrtovanju gradbenega objekta osredotočena predvsem na vsebinski vidik zgradbe. Parametrično modeliranje omogoča takšen način načrtovanja, saj se na osnovi vsebinskih zahtev, precejšen del geometrije tvori samodejno. Temu pravimo tudi načrtovanje na višjem abstraktnem nivoju, s čimer je omogočeno doseganje širšega konsenza pri določanju ključnih odločitev.

Prav zaradi upoštevanja različnih vidikov in procesa načrtovanja, ki ni premočrtno določen, se pojavljajo različne definicije parametričnega modeliranja, a so si vse bolj ali manj podobne v svojem bistvu (pri vseh so v središču gradniki oz. inteligentne komponente in njihove medsebojne relacije). Avtorja Lockhart in Johnson sta v knjigi *Engineering Design Communication* (Lockhart & Johnson 2000) zapisala naslednjo definicijo parametričnega modeliranja: »*In a parametric model, the different parts of the model »know« how they relate to one another. Their dimensions and geometric properties are defined in relation to each other, through parameters. When one element changes so do any other elements that are defined in*





*terms of that element. Through the relationship built into the model, the designer uses the ability of the software to automate tasks associated with refining the model.*«.

Če povzamemo definicijo, lahko rečemo, da inteligenco gradnikov predstavljajo parametri, ki omogočajo določitev posamezne lastnosti gradnika v odvisnosti od ostalih parametrov ali gradnikov, ki so v povezavi z njo. Iz tega izvirajo nekatere prednosti parametričnega modeliranja. Običajno proces načrtovanja poteka iterativno, kar pomeni, da se najprej modelirajo ključni deli modela. V drugi in naslednjih iteracijah pa se nato določajo manjkajoče podrobnosti. Pri tem se običajno pojavi tudi potreba po spremembi geometrijskih lastnosti delov modela iz prejšnjih iteracij. V primeru parametričnega modeliranja so takšne spremembe enostavne, saj se lastnosti geometrijskih elementov določajo s parametri, s čimer se določajo njihove ključne značilnosti (*ang. features*). Zaradi določanja značilnosti s parametri se takšen način modeliranja imenuje tudi modeliranje teles z značilnostmi (*ang. feature-based modeling*). V primeru klasičnega pristopa pa je za spremembo že izdelanih geometrijskih elementov potrebno ročno spreminjati vsakega posebej, kar je precej dolgotrajen proces, še zlasti v primeru velikega števila elementov. Število iteracij v procesu modeliranja je odvisno od kompleksnosti modela, izkušenosti načrtovalca in začetnih podatkov o objektu. Slednje ima še posebej velik vpliv na število iteracij, saj so nekateri podatki in podrobnosti o objektu znani šele tekom procesa načrtovanja, zato je pristop parametričnega modeliranja še toliko bolj pomemben in pomeni velike prihranke časa. Tako je načrtovalec v procesu načrtovanja lahko bolj osredotočen na vsebino objekta, ki ga načrtuje in ne toliko na procesne podrobnosti načrtovanja, ki so povezane z orodjem za modeliranje.

V splošnem se pri parametričnem modeliranju uporabljata dva tipa parametrov, in sicer:

1. dimenzijski parametri opisujejo dimenzije modela (npr. višina, širina, debelina itd.) in
2. geometrijski parametri ali omejitve, ki določajo geometrijske lastnosti gradnikov in njihove medsebojne relacije.

Vsak parameter ima svoje ime in pripadajočo vrednost, ki se določa glede na kontekst v katerem se gradnik nahaja. Parameter si je mogoče predstavljati tudi kot odvisno spremenljivko, katere vrednost je določena s funkcijo in ostalimi podatki, kar ponazarja primer 2.

---

## Primer 2

Pri modeliranju stene in okna veljajo nekatere zakonitosti, ki jim pravimo omejitve. Tako je mogoče določiti omejitve, da je oddaljenost okna od roba stene, označeno kot  $d$ , večja ali enaka polovici širine okna, označeno kot  $\hat{s}$ . Omejitev lahko izrazimo v matematični obliki kot:

$$d \geq \frac{\hat{s}}{2}$$



V zgornji enačbi je spremenljivka  $d$  odvisna in  $s$  tem tudi omejena s spremenljivko  $\xi$ , ki predstavlja širino okna. Takšna parametrizacija geometrijskih teles omogoča, da je načrtovalec v procesu načrtovanja osredotočen na vsebinske vidike modela in ne toliko na tehnične zahteve, ki so določene s pravili grajenja. Vsebinskih vidikov je lahko več, npr. estetski učinek, funkcionalne zahteve po zadostni osvetljenosti prostorov itd.

Izdelava gradnika v geometrijskem modelirniku je proces parametrizacije geometrijskega telesa, kjer se določijo njegove lastnosti. Tako definiran gradnik (npr. okno, vrata itd.) ima svoje značilnosti, ki ga nedvoumno ločijo od ostalih gradnikov. Še več, takšnemu gradniku pravimo, da predstavlja razred ali družino, saj se lahko iz njega s spremembo parametrov izpelje poljubna množica različnih geometrijskih teles, ki pa imajo v vsebinskem smislu iste značilnosti. V nadaljevanju je opisan zgolj princip parametrizacije geometrijskih teles, saj je konkretna izvedba odvisna od modelirnika.

### **Koncept parametričnega modeliranja**

Modeliranje posameznih delov geometrijskega modela brez uporabe inteligence gradnikov je naporen miselni proces, saj mora načrtovalec biti osredotočen na:

1. idejo, ki jo želi preslikati v geometrijski model in
2. natančno sprotno določevanje vseh geometrijskih podrobnosti o gradbenem objektu, ki so določene s pravili grajenja.

V izogib dolgotrajnemu rutinskemu določanju posameznih podrobnosti, se je pojavila ideja o vpeljevanju mehanizmov, ki omogočajo interakcijo med načrtovalcem in modelirnikom. To pomeni, da se nekatere geometrijske lastnosti lahko samodejno določajo na osnovi abstraktnih pravil. V razvoju geometrijskih modelirnikov se je koncept geometrijskih omejitev in njihovo avtomatsko reševanje predstavljal kot eden najobetavnejših. Z uvedbo geometrijskih omejitev so modelirniki postali bolj inteligentni, s čimer je se povečala tudi učinkovitost procesa modeliranja.

Proces parametričnega modeliranja z omejitvami je v splošnem sestavljen iz dveh korakov:

1. grobega skiciranja, ki podaja osnovno strukturo in obliko geometrijskega telesa in
2. definiranja geometrijskih omejitev za posamezna skicirana geometrijska telesa.

Za vrednotenje geometrijskih omejitev skrbi dodatni programski modul, ki je sestavni del modelirnika in se imenuje reševalnik geometrijskih omejitev (*ang. constraint solver*). Njegova osnovna naloga je natančno določanje geometrijskih lastnosti skiciranih geometrijskih teles na osnovi natančno definiranih geometrijskih omejitev (glej primer 2).

### **Lastnosti geometrijskega modeliranja z omejitvami**

Prednosti in slabost modeliranja z omejitvami izhajajo iz zahtev po abstraktno definiranih geometrijskih omejitvah. Večja kot je stopnja abstrakcije bolj splošna je omejitev in s tem je splošnejši tudi učinek definicije, ki določa lastnosti geometrijskega telesa. V praksi se izkaže, da je potrebno definirati večje



število omejitev, pri čemer pa je potrebno biti pozoren nato, da definirane omejitve niso v medsebojnem konfliktu. Glede na število omejitev in njihovo vsebino je geometrijsko telo lahko:

- pravilno omejeno (*ang. well-constrained*), če omogoča končno mnogo rešitev,
- poddimenzionirano (*ang. under-constrained*), če omogoča neskončno mnogo rešitev in
- predimenzionirano (*ang. over-constrained*), če rešitve ni mogoča.

Koncept modeliranja z omejitvami ne omogoča takojšnjega prikaza rezultatov, ampak je najprej potrebno definirati geometrijske omejitve in zagnati reševalnik omejitev. Šele tedaj dobimo rezultat modeliranja, ki upošteva nekonfliktno in pravilno definirane omejitve. Kljub temu se lahko zgodi, da je rezultat povsem drugačen od pričakovanega, kar pomeni, da omejitve vsebinsko niso pravilno definirane. Ugotavljanje izvora napak v takšnih primerih je precej težavno, saj reševalniki omejitev običajno ne omogočajo ustreznega diagnosticiranja.

Koncept parametričnega modeliranja z omejitvami ima številne prednosti pred ostalimi principi modeliranja, in sicer:

- zmanjšanje obsega rutinskega dela, saj ga opravi reševalnik geometrijskih omejitev,
- priprava različic iste geometrijskega telesa je avtomatizirana,
- za različice geometrijskih teles, ki izvirajo iz iste osnovne, je potrebno shraniti le parametre in ne celotne geometrije,
- opis z omejitvami je bolj kompakten in bolj abstrakten.

Izkaže se, da je definiranje omejitev precej težavno opravilo, saj zahtevaj precej specifičnega znanja iz geometrijskega modeliranja in izkušenj (Žalik 1999). V ta namen so se razvila specializirana orodja za posamezna področja, ki že vsebujejo standardne gradnike. Le-ti so predhodno parametrizirani, zato je proces modeliranja običajno omejen le določanje posameznih vrednosti parametrov, geometrijske omejitve, ki določajo obnašanje gradnika, pa so že definirane. Prav takšna specializacija geometrijskih modelirnikov se je zgodila na področju arhitekture in gradbeništva.

### *Zapis geometrijskih teles*

Prve parametrizacije geometrijskih teles segajo v obdobje, ko še grafični uporabniški vmesniki niso omogočali zadostne funkcionalnosti. Edini tedaj možni način za eksaktno definiranje gradnikov je bilo programiranje. Kasneje so se za definiranje parametriziranih geometrijskih teles pojavila orodja z grafičnimi uporabniškimi vmesniki. Tako se je proces parametrizacije bistveno poenostavil in pohitril, saj je pisanje ukazov v programski kodi nadomestilo interaktivno delo z grafičnim uporabniškim vmesnikom. Kljub učinkovitim grafičnim uporabniškim vmesnikom pa se programiranje kot način parametrizacije še vedno ohranja. Skozi razvoj modelirnikov se je na tem področju zgodil še dodaten premik. Statični skriptni jeziki so v mnogih modelirnikih zamenjali uveljavljeni programski jeziki, kot so: Lisp, Basic itd., kar je imelo pozitivne učinke, in sicer:



- izrazna moč uveljavljenih programskih jezikov je bistveno večja,
- prevajalniki in interpreterji so bolj optimizirani in
- sintaksa uveljavljenih programskih jezikov je širše poznana.

Programiranje parametričnih geometrijskih teles je z uvedbo uveljavljenih programskih jezikov postalo bolj učinkovito. Hkrati pa so uporabljeni programski jeziki prevzeli tudi osrednjo vlogo za zapis parametriziranih geometrijskih teles, tudi tistih, ki so ustvarjeni z uporabo grafičnih uporabniških vmesnikov. Eden takšnih je programski jezik Geometric Description Language GDL (Wikipedija 2013; Nicholson-Cole 2004), ki temelji na programskem jeziku Basic in ga uporablja orodje ArchiCAD. Primer 3 demonstrira uporabo jezika GDL za preprosto parametrizacijo kocke, ki omogoča izpeljavo poljubnega paralelepipeda.

---

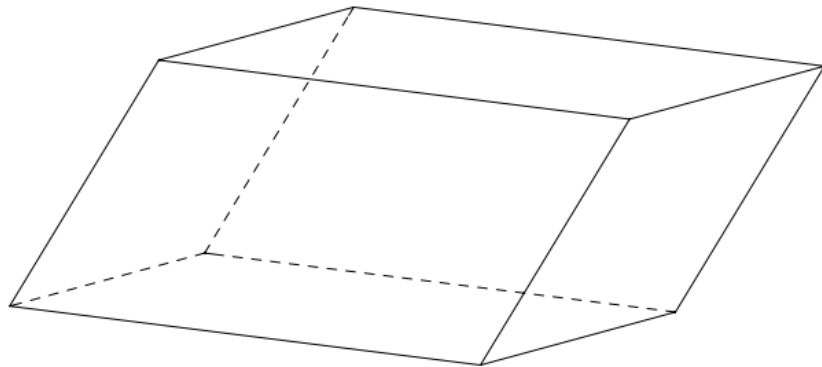
### Primer 3

Paralelepiped je prizma, ki ima za osnovno ploskev paralelogram. Takšno geometrijsko telo je mogoče izpeljati iz ustrezno parametrizirane kocke, ki je določeno z naslednjo programsko kodo:

```
XFORM 2, COS(A), COS(B) * C, 0,
      0, SIN(A), SIN(B) * C, 0,
      0, 0, 1, 0
```

```
BLOCK 1, 1, 1
```

Parametra A in B predstavljata kot nagiba paralelograma, parameter C pa določa faktor skaliranja posameznih dimenzij osnovne kocke. Rezultat parametriziranega geometrijskega telesa za vrednosti parametrov  $A = 60$ ,  $B = 30$  in  $C = 0.6$  prikazuje slika 12.



Slika 12: Rezultat parametrizacije kocke pri vrednostih parametrov  $A = 60$ ,  $B = 30$  in  $C = 0.6$

---



### *Parametrično modeliranje z uporabo gradnikov*

Kot smo že omenili je proces parametrizacije precej težavno opravilo, saj mora načrtovalec določiti katere geometrijske lastnosti bodo parametrizirane in kako bodo definirane relacije med njimi. Pri definiciji relacij je potrebno biti še posebej pozoren na konflikte, ki lahko nastopijo med posameznimi pravili. Vseh gradnikov pa seveda ni potrebno vedno znova ustvarjati. Modelirniki običajno že imajo knjižnico z osnovnimi gradniki, ki jih je mogoče uporabiti.

Zaradi različnih potreb in specifičnih zahtev posameznih inženirskih strok je prišlo do specializacije modelirnikov. Tako se danes na področju arhitekture in gradbeništva uveljavljajo modelirniki, ki omogočajo informacijsko modeliranje in je povsem prilagojeno načrtovanju gradbenih objektov. Podobne specializacije so deležne tudi knjižnice v modelirnikih, saj vsebujejo širok nabor gradnikov, ki jih gradbena stroka uvršča med standardne gradbene elemente (npr. okna, strehe, stene, stopnice itd.). Ob zadostnem naboru gradnikov v knjižnici je proces modeliranja gradbenih objektov mogoče omejiti le na uporabo obstoječih gradnikov, katerim se nato določijo le ustrezne vrednosti parametrov.

V primeru, da proces načrtovanja zahteva uporabo gradbenega elementa, ki ga ni mogoče izpeljati iz nabora obstoječih gradnikov je potrebno najprej:

1. namestiti že izdelani gradnik, ki je dostopen v spletnih knjižnicah gradnikov ali
2. izdelati lasten gradnik.

Poleg osnovnega nabora gradnikov v modelirnikih, so tudi na spletu dostopne različne plačljive ali brezplačne knjižnice gradnikov, ki omogočajo razširitev osnovnega nabora. Eden takšnih ponudnikov brezplačnih gradnikov je Graphisoft-ovo spletno mesto BIMcomponents (Graphisoft 2013b). V kolikor knjižnice na spletu ne vsebujejo zahtevanega gradnika pa je potrebno izdelati lastnega. Postopek izdelave je več koračen in se razlikuje od modelirnika do modelirnika. Primer izdelave lastnega gradnika v modelirniku Revit je opisan v priročniku z naslovom *Creating Parametric Families in Autodesk Revit Architecture* (Autodesk 2011). Primeri, ko je potrebno izdelati lasten gradnik se navadno pojavijo pri načrtovanju gradbenih objektov, ki presegajo običajne funkcionalnosti in oblike. Izdelani gradnik je nato mogoče ponovno uporabiti v ostalih projektih.



## Vprašanja

1. Katera pogoja morata biti izpolnjena za uspešno vzpostavitev informacijskega modeliranja gradbenih objektov?
2. Naštejte ključne razloge za neustrezno vzpostavljene delovne procese, ki bi omogočali informacijsko modeliranje gradbenih objektov. Razloge tudi opišite.
3. Kaj je to tehnološki determinizem?
4. Kateri nivoji komunikacije morajo biti vzpostavljeni za doseganje ustrezne stopnje sodelovanja?
5. Kaj je to gradnik ali inteligentna komponenta?
6. Kaj so to geometrijske predstavitve in katere poznate?
7. Opišite geometrijsko predstavitev z žičnim modelom.
8. Opišite geometrijsko predstavitev z ovojnico.
9. Opišite metodo temeljnih gradnikov.
10. Katere geometrijske predstavitve so najpogostejše v uporabi in zakaj?
11. Na kratko opišite razvoj principov modeliranja geometrijskih teles.
12. Opišite pristop modeliranja žičnih teles (prednosti in slabosti).
13. Opišite pristop modeliranja ploskovnih teles (prednosti in slabosti).
14. Naštejte in opišite načine na definiranje ploskev?
15. Opišite pristop modeliranja trdnih teles (prednosti in slabosti).
16. Katerih so osnovni sestavni deli geometrijskega modelirnika?
17. Zakaj je so se pojavili specializirani geometrijski modelirniki?
18. V kakšne namene je mogoče uporabiti 3D modele trdnih teles?
19. Opišite pristop parametričnega modeliranja.
20. Kako bi definirali parametrični modeliranje?
21. Katere tipe parametrov poznamo in zakaj se uporabljajo? Navedite tudi kakšen primer.
22. Kaj je to parametrizacija geometrijskih teles in kaj je rezultat parametrizacije?
23. Opišite postopek parametričnega modeliranja. Podajte tudi primerjavo s tradicionalnim pristopom.
24. Kaj so to geometrijske omejitve?
25. Kako geometrijske omejitve vplivajo na proces modeliranja?
26. Naštete lastnosti geometrijskih omejitev.
27. Na kakšen način so zapisana geometrijska telesa in omejitve?
28. Kateri jezik za opis geometrijskih teles poznate? Kratak opis.
29. Opišite postopek modeliranja z uporabo gradnikov.



## Kazalo

Parametrično modeliranje .....	1
Geometrijske predstavitev .....	2
Predstavitev z žičnim modelom.....	3
Geometrijska predstavitev z ovojnico .....	4
Metoda temeljnih gradnikov.....	6
Uporaba obeh geometrijskih predstavitev.....	7
Tehnike modeliranja.....	8
Izdelava žičnih modelov .....	8
Modeliranje ploskovnih teles .....	11
Modeliranje trdnih teles.....	14
Parametrično modeliranje.....	16



## Kazalo slik

Slika 1: Primer žičnega modela kocke. Če ploskve modela niso definirane, potem ni mogoče enoumno določiti orientiranosti kocke.....	3
Slika 2: Primer geometrijskega telesa, kjer je uporabljena predstavitev z ovojnico (Craftsmanspace 2013). .....	4
Slika 3: Lice, rob in oglišče na primeru kocke (waielbi 2009). .....	5
Slika 4: Boolove operacije nad temeljnima gradnikoma kocka in krogla; levo – Boolova operacija unija, sredina – Boolova operacija presek in desno – Boolova operacija razlika (Wikipedia 2013). .....	6
Slika 5: Boolove geometrijske transformacije predstavljene v obliki grafa (Wikipedia 2013). .....	7
Slika 6: Primer žičnega modela hiše (Behar 2010). .....	9
Slika 7: Dvoumna predstavitev telesa z žičnim modelom; žični model (levo) in možne interpretacije (desno) (Leigh 2009).....	10
Slika 8: Žični model, ki definira nesmiselno telo. ....	10
Slika 9: Določanje ploskev s pomočjo vrtenja (Systèmes Dassault 2013). .....	12
Slika 10: Predstavitev gradbenega objekta s poligonalno mrežo; levo - s poligoni omejene ploskve in desno - definirane ploskve s določenimi lastnostmi, npr. barva (TurboSquid 2013).....	13
Slika 11: Prikaz ploskve NURBS, ki jo določa 16 kontrolnih točk (IPS Community n.d.).....	14
Slika 12: Rezultat parametrizacije kocke pri vrednostih parametrov $A = 60$ , $B = 30$ in $C = 0.6$ .....	20





## Literatura

- 3D Tech Soft, 2013. Toolkit Products Parasolid. <http://www.techsoft3d.com/our-products/parasolid>.
- Autodesk, 2013. Autodesk Revit. <http://www.autodesk.com/products/autodesk-revit-family/overview>.
- Autodesk, 2011. *Creating Parametric Families in Autodesk Revit Architecture*,
- Barlish, K. & Sullivan, K., 2012. How to measure the benefits of BIM — A case study approach. *Automation in Construction*, 24, pp.149–159. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008> [Accessed November 3, 2012].
- Behar, S., 2010. MeXSI Blog. <http://mexsi.wordpress.com/2010/08/>.
- Bentley, 2013. Bentley Architecture. <http://www.bentley.com/en-US/Products/Bentley+Architecture/>.
- Corp. Spatial, 2013. 3D ACIS Modeler. <http://www.spatial.com/products/3d-acis-modeling>.
- Craftsmanspace, 2013. Playing with Rhino 3D CAD software. <http://www.craftsmanspace.com/free-3d-models/playing-with-rhino-3d-cad-software.html>.
- Čuš Babič, N., 2011. *Optimizacija informacijskih tokov v gradbenih projektih kot osnova za učinkovito strategijo uvajanja informacijskih tehnologij*. University of Maribor, Faculty of civil engineering.
- Deutsch, R., 2011. *BIM and Integrated Design Strategies for Architectural Practice*, John Wiley & Sons, Inc.
- Eastman, C. et al., 2011. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors* 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Gehry, F., 2013. Gehry Technologies. <http://www.gehrytechnologies.com/architecture/recent-work>.
- Gehry Technologies, 2013. Digital Project. <http://www.gehrytechnologies.com/digital-project>.
- Graphisoft, 2013a. ArchiCAD. <http://www.graphisoft.com/products/archicad/>.
- Graphisoft, 2013b. BIMcomponents. <https://bimcomponents.com/>.
- Guid, N., 2001. *Računalniška grafika*, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko and računalništvo in informatiko.
- IPS Community, 3dmax-tutorials. [http://www.3dmax-tutorials.com/CV\\_Surface.html](http://www.3dmax-tutorials.com/CV_Surface.html).
- Leigh, R.W., 2009. Advantages of 3D Solid Modeling. <http://ronleigh.com/ivytech/advantages3DSM.htm>.



Lockhart, S.D. & Johnson, C.M., 2000. *Engineering Design Communication*,

Nemetschek, 2013. Vectorworks. <http://www.vectorworks.net/>.

Nicholson-Cole, D., 2004. *The GDL Cookbook* 4th ed.,

Nour, M. et al., 2010. *Overview of Information Management Applications, Including Object-Based Version Management*,

Porwal, A. & Hewage, K.N., 2013. Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. *Automation in Construction*, 31, pp.204–214. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004> [Accessed February 13, 2013].

Systèmes Dassault, 2013. SolidWorks.

[http://help.solidworks.com/2013/English/SolidWorks/sldworks/t\\_Revolved\\_Surface.htm](http://help.solidworks.com/2013/English/SolidWorks/sldworks/t_Revolved_Surface.htm).

TurboSquid, 2013. Low poly building 7. <http://www.turbosquid.com/3d-models/low-polygonal-building-games-3d-max/674642>.

waielbi, 2009. OpenclipArt. <http://openclipart.org/detail/27751/cube-by-waielbi-27751>.

Wikipedia, 2013. Constructive solid geometry.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Constructive\\_solid\\_geometry](https://en.wikipedia.org/wiki/Constructive_solid_geometry).

Wikipedija, 2013. Geometric Description Language.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Geometric\\_Description\\_Language](http://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_Description_Language).

Žalik, B., 1999. *Geometrijsko modeliranje*,



## Sodelovanje znotraj projektne pisarne

Sodelovanje je transakcijski proces in ne more obstajati samo z enim udeležencem, temveč vedno zahteva vključitev vsaj dveh ali več, ki med seboj komunicirajo. Način komunikacije se od primera do primera razlikuje glede na kontekst uporabe in udeležence. Proces komunikacije pa je mogoče podpreti tudi z informacijskimi tehnologijami (npr. videokonferenca, računalniški oblaki itd.). Tudi v gradbeništvo je komunikacija osnovna komponenta sodelovanja, tako med udeleženci v projektu, kot med sodelavci znotraj projektne pisarne. Ustrezno izbrani načini komunikacij in dobro utrjene veščine komuniciranja zagotavljajo uspešno sodelovanje med udeleženci projekta, kar ugodno vpliva tudi na kvaliteto izvedbe.

Orodja, ki omogočajo informacijsko modeliranje objektov so običajno združena v širše okolje, katerega osnovna naloga je integracija procesov in podatkov. Tako se poleg že znanih modelirnikov (Revit, ArchiCAD itd.) in ostalih programov (Navisworks, MEP Modeler, Allplan itd.), v tem okolju znajdejo tudi orodja za sodelovanje. Številne raziskave v zadnjih letih so pokazale, da obstajajo ravno na področju sodelovanja velike rezerve za izboljšanje procesov v gradbeni industriji. V poglavju [Sodelovanje med partnerji v gradbenem projektu](#) smo se osredotočili predvsem na sodelovanje med različnimi akterji v fazi načrtovanja, grajenja in vzdrževanja gradbenega objekta. V tem poglavju pa bomo natančneje razložili principe sodelovanja znotraj projektne skupine v zgodnjih fazah načrtovanja gradbenega objekta.

## Projektne pisarne

V proces načrtovanja obsežnejšega gradbenega objekta je vključenih več članov projektne skupine, ki soustvarjajo, souporabljajo, skratka sodelujejo. Način komunikacije med njimi je odvisen tako od vsebine, kot tudi od števila udeležencev. V nadaljevanju se bomo osredotočili na različne načine komuniciranja, ki je odvisno predvsem od števila članov projektne skupine. Tako lahko projektne pisarne v grobem razdelimo na velike in male.

## Mala projekta pisarna

Projektno pisarno v kateri deluje 4-6 arhitektov in projektantov kategoriziramo kot malo projektno pisarno. Kapacitete takšnih pisarn običajno omogočajo izvajanje dveh vzporednih projektov. Velikost izvajanja gradbenih projektov znotraj takšne organizacijske strukture je precej omejena. Značilno je, da na posameznem projektu dela en ali dva zaposlena, zato običajno prevladuje neformalna komunikacija, ki povsem zadošča za reševanje problemov in koordinacijo tekočih projektov. Problem se pojavi pri izpadu delovne sile (npr. dopust, bolniška, odpoved itd.), saj posameznika, ki dela na projektu in ga v celoti tudi obvladuje, ni mogoče preprosto nadomestiti.

Zaradi relativno malega števila zaposlenih si takšne projektne pisarne ne morejo privoščiti dodatno zaposlenih ljudi, ki bi skrbeli za razvoj CAD orodji in informacijskih tehnologij v podjetju. Tovrstne probleme običajno rešujejo z najemanjem delovne sile za krajši čas ali z zunanjimi izvajalci, kar pa nedvomno zmanjša učinkovitost vpeljevanja in uvajanja novosti v delovni proces. V praksi se izkaže, da je



stopnja informatizacije v malih projektih pisarnah v veliki meri odvisna samoiniciativnosti zaposlenih in njihove dovzetnosti za nove informacijske tehnologije. V kolikor je takšne zavzetosti dovolj, potem je uvajanje sprememb v delovni proces tudi uspešno.

### Velika projektna pisarna

V kategorijo velikih projektih pisarn pa uvrščamo delovna okolja z 20 ali več zaposlenimi arhitekti in projektanti, ki so specializirani za posamezna področja načrtovanja. Takšno število zaposlenih običajno zadostuje za vzpostavitev 4 ali več projektih skupin. Vsaka od teh skupin je sposobna samostojno prevzeti projekt običajnega obsega. V kolikor pa je naloga večja, t.j. velik projekt, pa je potrebno združiti moči in v projekt vključiti dve ali več projektih skupin, ki jih nadzira in usmerja vodja projektne pisarne. Takšna podjetja dodatno zaposlujejo tudi enega ali dva eksperta za CAD orodja ter informacijske tehnologije in posebno skupino ekspertov za vizualizacijo. Osnovno strukturo velike projekta pisarne prikazuje slika 1.



Slika 1: Struktura velike projektne pisarne.

Obseg projektov velike projektne pisarne je največkrat prevelik, da bi ga lahko obvladoval posameznik, zato je delitev dela med člane projektne skupine nujna. Ključni izziv takšnih delovnih okolij je nedvomno, kako zagotoviti nemoteno, konsistentno in sočasno delo več ljudi na istem projektu. Rešitev je v *sočasni uporabi informacijskega modela objekta*, ki je sestavljena iz naslednjih treh sklopov:

1. sodobni pristopi k načrtovanju (npr. parametrično modeliranje),
2. skupna raba informacij in
3. stalna komunikacija med člani projektne skupine.

### Sočasna uporaba informacijskega modela objekta

Če je obseg projekta dovolj majhen da ga zmore obvladovati posameznik, potem problem sodelovanja in skupnega dela pri načrtovanju gradbenega objekta ni posebej izpostavljen. Kakor hitro pa se obseg



projekta poveča in je vanj vključenih več članov projektne skupine, pa je potrebno zagotoviti mehanizme, ki omogočajo sodelovanje med njimi. V splošnem obstaja več načinov zagotavljanja skupne rabe informacijskega modela objekta, pri čemer so najpogosteje uporabljeni naslednji:

1. odložišče datotek (*ang. file storage*),
2. sklic na datoteke (*ang. external reference files*) in
3. skupna raba informacijskega modela objekta (*ang. client-server technology*).

Vsi trije načini se med seboj precej razlikujejo in imajo svoje prednosti in slabosti. Izbira posameznega načina za skupno rabo informacijskega modela objekta je odvisna predvsem od števila članov projektne skupine in obsega ter kompleksnosti gradbenega objekta.

### Odložišče datotek

Skupno odložišče datotek je prostor na računalniku (običajno na oddaljenem računalniku), do katerega je omogočen dostop uporabnikom iz oddaljenih računalnikov. Upravljanje z datotekami in mapami je povsem enako, kot na lokalnem računalniku. Odložišče omogoča shranjevanje projektne dokumentacije (npr. modeli, načrti, risbe, izračuni itd.) v obliki datotek na skupno mesto na oddaljenem računalniku do katerega imajo dostop tudi ostali člani projektne skupine. Na takšen način je zagotovljena asinhrona komunikacija med člani projektne skupine.

Zaradi preproste izvedbe se je princip odložišča datotek ohranil vse do danes, saj ima številne prednosti. V nekaj desetletnem razvoju so se pojavile različne tehnološke rešitve, ki so bile predvsem odraz tehnološkega napredka računalništva in telekomunikacij. V svojem bistvu je princip odložišča datotek ohranil enak način komunikacije, kot jo poznamo od začetka skupne rabe datotek, pa vse do danes, ko je podprta z najnovejših tehnoloških različicami računalniških oblakov.

Konfiguracijske zahteve za vzpostavitev skupnega odložišča so minimalne, saj gre zgolj za upravljanje z datotekami in mapami. Način uporabe skupnega odložišča temelji na tem, da ima vsak član delovne skupine na svojem računalniku lokalno kopijo dokumenta. Ko zaključi s posameznim sklopom, prenese lokalno kopijo dokumenta na skupno odložišče, kot prikazuje slika 2. Neodvisno od tega, koliko spremembe je bilo izvedenih, pri prenosu datoteke na odložišče se prenese celotna datoteka. Enako velja za prenos datotek od odložišča na računalnik.

Ključna problema komunikacije s skupnim odložiščem sta dva. Ker skupno odložišče deluje povsem identično kot datotečni sistem operacijskega sistema na računalniku in se podatki obravnavajo zgolj na nivoju datotek, je za ustrezno sinhronizacijo potrebno poskrbeti na strani odjemalca, t.j. člani projektne skupine.



---

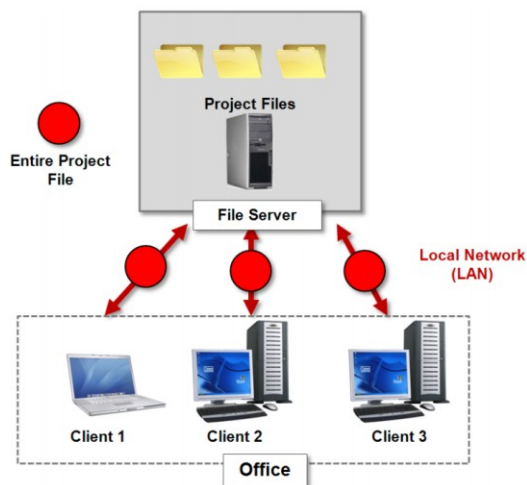
### Primer 1: Skupna raba informacijskega modela objekta s pomočjo odložišča datotek

Za primer vzemimo, da član projektne skupine vnaša spremembe v informacijski model objekta. Tedaj morajo ostali uporabniki čakati. Ko član projektne skupine zaključi z delom in prenese datoteko (informacijski model objekta) v skupno odložišče, se delo v skupini lahko nadaljuje. Najprej se morajo dogovoriti kdo bo nadaljeval z delom na informacijskem modelu objekta. Izbrani član delovne skupine si prenese informacijski model objekta na svoj računalnik in prične z delom. Ostali spet čakajo.

---

Iz primera je razvidno, da uporaba skupnega odložišča datotek ni primeren način komunikacije za zagotavljanje konsistentnosti informacijskega modela objekta pri sočasni uporabi le-tega.

Čas prenosa datotek med računalnikom in odložiščem je odvisen od velikost datotek in hitrosti prenosa, ki jo določa konfiguracija omrežja. Če je komunikacija med člani skupine intenzivna, t.j. veliko število prenosov, ali če so informacijski modeli objekta kompleksni —posledično tudi velike datoteke—, se čas prenosa podatkov podaljša. Daljši časi prenosa podatkov pa močno zmanjšuje učinkovitost komunikacije in posledično tudi se zmanjšuje stopnja sodelovanja med člani delovne skupine.



Slika 2: Koncept skupnega odložišča. Puščice z rdečo piko predstavljajo prenos celotne datotek, ki vsebuje zapis informacijskega modela objekta (Graphisoft, 2012).

### Skupina raba datotek

Princip skupne rabe datotek je zelo star mehanizem, ki omogoča dostop do datotek na oddaljenih računalniki. Med prvimi so tovrstni način povezovanja omogočali starih UNIX operacijskih sistemi. Zaradi uporabnosti in razširjenosti se je princip skupne rabe datotek v operacijskih sistemih ohranil vse do danes. Princip skupne rabe datotek je uporaben in uporabljen za različne primere, med drugim tudi za vzpostavitev skupnega odložišča v projektih pisarnah. Člani delovne skupine imajo dostop do posameznih delov odložišča, glede na vlogo in odgovornosti v skupini.

---



Z množičnim povezovanjem računalnikov v številna omrežja in prisotnostjo vse večjega števila nepoučenih uporabnikov, so računalniki postali pogosta tarča napadalcev. Ena izmed učinkovitih zaščit, a vendar ne zadostna, pred takšnimi vdori je požarni zid (*ang. firewall*), ki je danes sestavni del operacijskih sistemov. Požarni zid predstavlja aktivno zaščito pred napadalci in varuje računalnik pred vdori, ki bi bili mogoči zaradi pomanjkljivosti operacijskega sistema ali programov. Zaščita temelji na preprečevanju povezovanja zunanjih uporabnikov na poljubno mesto našega računalnika, kot je shematsko prikazano na sliki 3. Povedano drugače, požarni zid omogoča selektivno izbiro:

- računalnikov ali programov, ki se lahko povezujejo na naš računalnik in
- naših programov, ki se lahko povezujejo na izbrane računalnike in njihove programe.

Osnovna naloga požarnega zidu je torej nadzor nad povezovanjem programov med računalniki, kamor sodi tudi sistemska programska oprema (del operacijskega sistema), ki omogoča skupno rabo datotek.

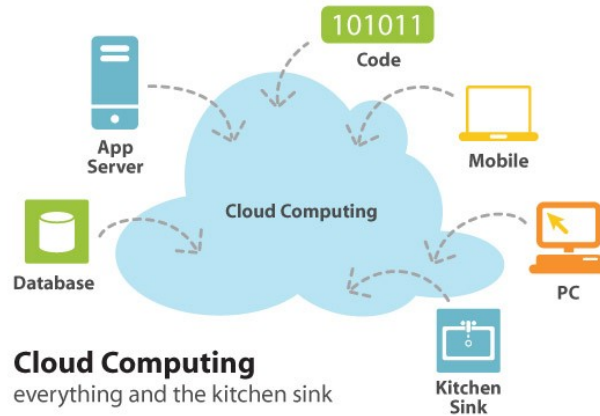
V kolikor uporabnik želi ohraniti stopnjo varnosti (vklopljen požarni zid) in hkrati koristiti funkcionalnost skupne rabe datotek, je potrebno predhodno izvesti ustrezne nastavitve požarnega zidu, kar pa zahteva poznavanje nekaterih principov mrežnega povezovanja računalnikov.



Slika 3: Shematski prikaz povezovanja naprav v omrežju z uporabo požarnega zidu (TechnoHungama, 2012).

### ***Računalniški oblaki***

Z razvojem hitrih telekomunikacijskih povezav so se pojavili tudi računalniški oblaki (*ang. cloud computing*) in novi načini povezovanja med računalniki. Ponudnikov storitev računalniških oblakov je precej, npr. [Dropbox](#), [GoogleDrive](#), [Box](#), [MediaFire](#), [SkyDrive](#), [SugarSync](#) itd. Osnovni princip delovanja omenjenih storitve je zelo podoben in temelji na shranjevanju dokumentov na oddaljenem računalniku, kot prikazuje slika 4. Vsak uporabnik se ob kreiranju uporabniškega računa v računalniškem oblaku dodeli prostor, kamor lahko shranjuje datoteke. Dostop do teh datotek pa je mogoč samo uporabnikom, ki se jim dodelijo ustrezne pravice. Ključna prednost takšnega načina shranjevanja podatkov je dosegljivost od koderkoli, kjer sta omogočena uporaba računalnika in internetna povezava.



Slika 4: Osnovni princip delovanja računalniškega oblaka (Businesses, 2011).

Prenos datotek med računalniškim oblakom in našim računalnikom se lahko izvede na tri načine, in sicer:

1. preko spletnega uporabniškega vmesnika,
2. s shranjevanjem v mapo na našem računalniku, ki je sinhronizirana z računalniškim oblakom in
3. s skupno rabo.

#### Prenos datotek preko spletnega uporabniškega vmesnika

Prvi korak k uporabi računalniškega oblaka je odprtje uporabniškega računa pri izbranem ponudniku, kjer določimo uporabniško ime in geslo. Po prijavi se prikaže vsebina računalniškega oblaka, ki je na začetku prazna. Nalaganje datotek je omogočeno z ustreznim uporabniškim vmesnikom, kjer označimo datoteke na lokalnem računalniku, ki jih želimo prenesti v računalniški oblak. Spletni vmesnik prav tako omogoča osnovne operacije mapami in datotekami, kot so: premikanje, brisanje, kopiranje itd. Izbrane datoteke iz računalniškega oblaka lahko tudi snamemo na lokalni računalnik.

#### Prenos datotek s sinhronizirano mapo

Potrebujemo odprt račun pri izbranem ponudniku računalniškega oblaka. Za sinhronizacijo datotek med mapo na lokalnem računalniku in računalniškim oblakom je potrebna namestitev odjemalca, ki ga je potrebno povezati z računalniškim oblakom. (vnos uporabniškega imena in gesla). Sinhronizacija nato steče in se tudi samodejno izvaja, kar pomeni, da je vsebina izbrane mape na lokalnem računalniku povsem enaka vsebini v računalniškem oblaku. Če odpremo poljubno datoteko v sinhronizirani mapi, spremimo vsebino le-te in jo shranimo, se v tistem hipu izvede tudi sinhronizacija, kar ima za posledico samodejno spremembo datoteke v računalniškem oblaku. Sinhronizacija seveda deluje tudi v obratni smeri. Če naložimo novo datoteko preko spletnega vmesnika, se nato prične postopek sinhronizacije in tako se datoteka iz računalniškega oblaka prenese v sinhronizirano mapo na lokalnem računalniku. Sinhronizacija velja tudi za ostale operacije nad mapami in datotekami. Zaradi opisanih funkcionalnosti se računalniški oblaki pogosto uporabljajo tudi za izdelavo varnostnih kopij podatkov.



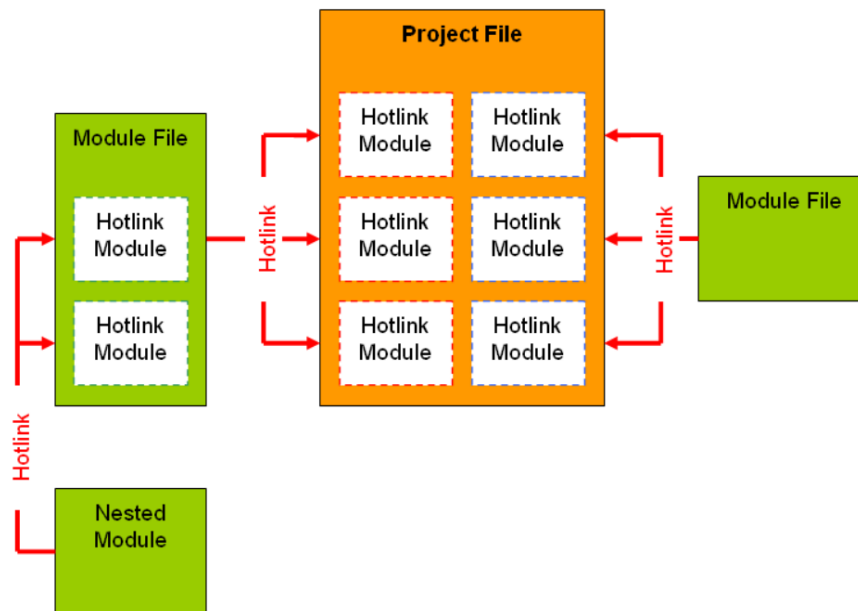


## Prenos datotek s skupno rabo

Predpostavimo, da že imamo ustvarjen računa pri izbranem ponudniku računalniškega oblaka in v njem naloženo datoteko. Izbrano datoteko ali mapo je mogoče dodeliti v skupno rabo z ostalimi uporabniki računalniškega oblaka istega ponudnika. Pri dodeljevanju pravic za skupno rabo datotek je potrebno navesti uporabniško ime uporabnika, kateremu želimo omogočiti dostop do naših dokumentov v računalniškem oblaku. Navedenega uporabnika sistem obvesti, da so mu na voljo novi dokumenti v skupni rabi in ob potrditvi se ti dokumenti tudi prenesejo v njegov računalniški oblak. Dokumenti v skupni rabi med uporabniki so privzeto že sinhronizirani. Proces sinhronizacije med računi v računalniškem oblaku ima enake lastnosti kot sinhronizacija med računalnikom in računalniškim oblakom.

## Sklic na datoteke

Princip sklicevanja na zunanje datoteke omogoča ločeno modeliranje posameznih podmodelov, ki se shranjujejo v samostojne datoteke. Takšna struktura omogoča, da je informacijski model objekta lahko sestavljen izključno iz sklicev na datoteke podmodelov, zato se spremembe v podmodelu avtomatsko odražajo tudi v informacijskem modelu objekta. Sklicev na posamezno datoteko podmodela je lahko več, kar je še posebej koristno v primerih z veliko ponavljajočimi elementi (npr. stebri, stene itd.) ali podmodeli (npr. sobe bolnišnice, hotela itd.). Tako se sprememba v podmodelu odraža v informacijskem modelu objekta povsod tam, kjer je bil uporabljen sklic na spremenjeni podmodel. Tudi sklici na datoteke podmodelov znotraj podmodela so mogoči. Temu pravimo vgnezdeno sklicevanje (*ang. nested external reference files*). Strukturo informacijskega modela objekta s (vgnezdenimi) sklici na podmodel prikazuje slika 5.



Slika 5: Informacijski modela objekta s sklici na podmodele (Gaphisoft, 2012).

Ključna prednosti sklicevanja na datoteke podmodelov je ponovna uporaba le-teh v informacijskem modelu objekta, kar omogoča njegovo enostavnejše vzdrževanje in spreminjanje (sprememba podmodela se odraža pri vse sklicih). Prednost sklicevanja se izkaže tudi pri porabi prostora na računalniku, saj sklicevanje na podmodele bistveno zmanjša skupno velikost datotek na računalniku (enkrat definiran podmodel, ostalo so samo sklici). Tudi upravljanje informacijskega modela objekta, kjer se uporablja sklicevanje, je olajšano, saj se kompleksni model razdeli na enostavnejše in obvladljive podmodele, le-te pa je mogoče dalje deliti na podpodmodele itd.

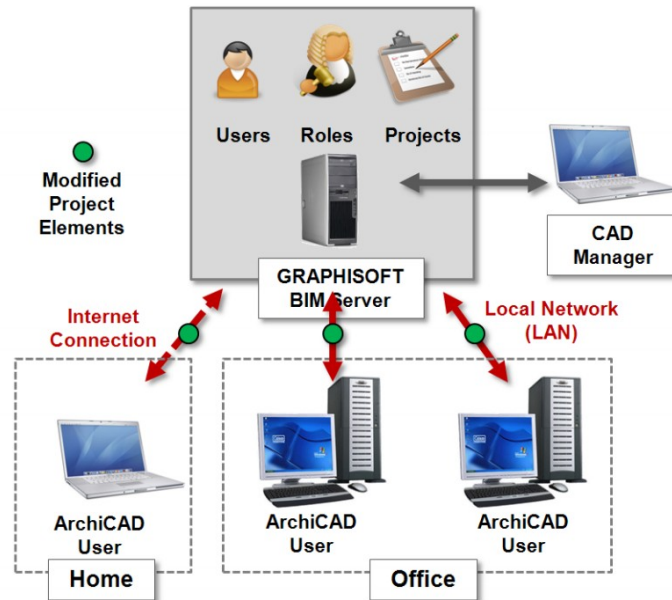
Ključne prednosti pristop pa lahko v nekaterih primerih pomenijo tudi težavo. Če član projektne skupine iz kakršnihkoli razlogov premeni podmodel, se to odraža povsod, kjer so bili uporabljeni sklici na ta podmodel. Težava nastopi v primeru, ko se isti podmodel uporabi v več različnih kontekstih informacijskega modela objekta. Zaradi kompleksnosti informacijskega modela objekta, le-tega ni mogoče v celoti obvladovati, zato tudi ni mogoče hkrati obravnavati vseh njegovih vidikov. Tako se lahko zgodi, da je član projektne skupine osredotočen na reševanje posameznega problema pri čemer pa ni pozoren na ostale vidike uporabe podmodela. Če se v takšnem primeru izvede sprememba podmodela (vsebinska sprememba, premik na drugo lokacijo, brisanje itd.), lahko ima to negativne posledice na celoten informacijski modela objekta.

### Skupna raba informacijskega modela objekta

Oba prej opisana načina komunikacije omogočata skupno rabo informacijskega modela znotraj delovne skupine, vendar s precejšnjimi omejitvami. Ena izmed ključnih je zagotavljanje konsistentnosti modela, ki je izključno v domeni odjemalcev, t.j. članov projektne skupine. Programsko okolje, ki opravlja s skupnim informacijskim modelom objekta, samo po sebi ne zagotavlja njegove konsistentnosti, saj sodelovanje temelji zgolj na izmenjavi datotek. Dodatna logika in inteligenca nista vključeni in zanj morajo poskrbeti odjemalci, kar je še posebej problematično pri velikem številu članov projektne skupine.

Skupno rabo informacijskega modela objekta, kjer sodelovanje poteka tekoče in kjer je zagotavljanje konsistentnosti modela sistemsko podprto, je mogoče zagotoviti z uporabo BIM strežnika. Koncept BIM strežnika povzema osnovne principe odložišča datotek in sklica na datoteke, pri čemer konsistentnost modela in visoko stopnjo sodelovanja zagotavlja BIM strežnik. Ključna prednost BIM strežnika je torej v tem, da se prenese skrb za konsistentnost modela in visoko stopnjo sodelovanja od odjemalca na strežnik.





Slika 6: Shematski prikaz delovanja BIM strežnika (Graphisoft, 2012).

Princip delovanja BIM strežnika temelji zgolj na izmenjavi sprememb med odjemalci in strežnikom, kot prikazuje slika 6. Člani projektne skupine imajo pri sebi lokalno kopijo informacijskega modela objekta kamor vnašajo spremembe. Pri tem je v modelu potrebno izvesti rezervacijo elementov modela, nad katerimi se izvajajo spremembe. V času rezervacije njihova souporaba ni mogoča. Sinhronizacija s skupnim informacijskim modelom objekta poteka tako, da se na BIM strežnik pošljejo le spremembe, kjer se izvedejo posodobitve skupnega informacijskega modela objekta. Hkrati se s tem sprostijo tudi rezervacije elementov modela, ki so sedaj na voljo ostalim članom delovne skupine.

Pri rezervaciji posameznih delov modela v splošnem ne obstajajo omejitve, pri čemer je mogoče izvesti rezervacijo posameznih elementov ali atributov informacijskega modela objekta. Takšna fleksibilnost je ključnega pomena, saj rezerviranih elementov modela ostali člani projektne skupine ne morejo spreminjati. Zaželeno je čim manjše število rezerviranih elementov informacijskega modela objekta.

### *Sinhronizacija lokalnega in skupnega informacijskega modela objekta*

V splošnem lahko sinhronizacija poteka samodejno ali pa na zahtevo. Samodejna sinhronizacija se lahko izvaja na več načinov, in sicer:

- takoj pri vnosu spremembe,
- po preteku časovne značke,
- pri shranjevanju,
- itd.

Člani projektne skupine pri samodejni sinhronizaciji ne rabijo skrbeti kdaj in kako bodo izvedli sinhronizaciji z informacijskim modelom objekta. Slabost takšnega načina sinhronizacije je ustvarjanje

nepotrebna podatkovnega prometa v omrežju in nepotrebno obremenjevanje BIM strežnika. Oba problema sta še posebej preča, če je članov projektne skupine veliko.

Pri sinhronizaciji na zahtevo pa je član projektne skupine odgovoren za sprožitev postopka sinhroniziranja lokalnega in skupnega informacijskega modela objekta. Sinhronizacija poteka v obe smeri, t.j. lokalni – skupni in skupni – lokalni. Smer sinhronizacije se lahko eksplicitno tudi določi, in sicer glede na potrebe. Sinhronizacija skupnega informacijskega modela objekta z lokalnim informacijskim modelom objekta pomeni, da se njegove spremembe prenesejo na BIM strežnik, kjer programska oprema izvede ustrezne posodobitve skupnega informacijskega modela objekta. Za prenos sprememb iz skupnega informacijskega modela objekta k članom delovne skupine pa je potrebno izvesti sinhronizacijo lokalnega informacijskega modela objekta s skupnim.

### *Funkcionalnosti BIM strežnika*

#### Varnost

Pri distribuiranih podatkih kot so v primeru BIM strežnika, je ključnega pomena varnost. V ta namen imajo BIM strežniki vgrajen mehanizem za zaščito podatkov, ki temelji na uporabi uporabniškega imena in gesla. Tudi komunikacijski kanal med strežnikom in odjemalci je mogoče zaščititi s šifrirnim algoritmom, kar preprečuje pridobivanje podatkov s pomočjo prisluhov.

#### Različice

Pomembna funkcionalnost, ki jo omogočajo BIM strežniki je pregled preteklih različic informacijskega modela objekta. Pri sinhronizaciji lokalnega in skupnega informacijskega modela objekta se prenašajo samo spremembe, ki predstavljajo bistveno manjšo prostorsko zahtevnost kot prenos celotnega modela. Če so te spremembe shranjene, jih je mogoče s pomočjo BIM strežnika in skupnega informacijskega modela objekta uporabiti za restavriranje prehodnih različic modela.

#### Neformalna komunikacija

Pri vnosu sprememb v lokalni informacijski model objekta je mogoče vzpostaviti tudi neformalno komunikacijo, ki omogoča hitro sporočanje. Takšen način komunikacije lahko služi kot opomniki, kratka pojasnila, neformalna povpraševanja itd., zraven pa je možno pripeti tudi različne dokumente, ki bolj slikovito in nazorno pojasnjujejo razloge na vnos dotične spremembe. Iz vidika sodelovanja je zelo pomembno, da se tudi neformalna komunikacija ohranja. Tako BIM strežnik omogoča, da se pri sinhronizaciji prenaša tudi vsebina neformalne komunikacije, kar omogoča doseganje višje stopnje sodelovanja.

#### Recenzija sprememb

BIM strežnik mogoča vzpostavitev dodatne kontrole pri sinhronizaciji v obliki recenzije poslanih sprememb. Recenzijo običajno izvaja vodja delovne skupine ali vodja projekta, ki lahko predlagane spremembe zavrneta ali potrdira. Šele tedaj se izvede dejanska posodobitev skupnega informacijskega modela objekta.



### ***Prednosti in slabosti***

Tehnološka rešitev, temelječa na BIM strežniku, povzema prednosti dveh načinov komuniciranja, t.j. odložišče datotek in sklic na datoteke, ter ju združuje na skupni tehnološki osnovi. Z BIM strežnikom so tako odpravljene ključne omejitve prej omenjenih načinov komuniciranja, zaradi česar je bila otežena komunikacija, temu primerna pa je bila zato tudi stopnja sodelovanja.

Ključne prednosti BIM strežnika lahko strnimo v naslednji seznam:

- Člani delovne skupine lahko delajo sočasno, pri čemer ni potrebno informacijski model objekta deliti na podmodele.
- Omogočeno je sočasno delo na informacijskega modela objekta, saj je z rezervacijami sistemsko zagotovljeno, da spremembe nad posameznim elementom lahko izvaja samo en član projektne skupine.
- Člani delovne skupine lahko kadarkoli preverijo stanje informacijskega modela objekta.
- Vzpostavitev in uporaba okolja za sodelovanje je enostavna.
- Proces sinhronizacije je hiter, saj se pošiljajo samo spremembe. Tako je sinhronizacija mogoča tudi v primeru počasnejših komunikacijskih kanalov.
- Sistem omogoča ostalim članom projektne skupine dostop do vseh podrobnosti v informacijskem modelu objekta (tudi tistih v rezervaciji).
- Modelirniki, ki omogočajo povezljivost z BIM strežnikom temeljijo na uporabi inteligentnih komponent. Pri posodabljanju skupnega informacijskega modela objekta BIM strežnik skrbi za konsistentnost modela. Neustrezne inteligentne komponente BIM strežnik izloči v procesu posodabljanja in s tem prepreči negativne posledice na skupni informacijski modela objekta.
- Člani delovne skupine lahko nemoteno opravljajo svoje delo v modelirniku tudi tedaj ko nimajo vzpostavljene mrežne povezave. Ko je le-ta vzpostavljena pa se lahko izvede tudi sinhronizacija.

Kljub številnim prednostim, pa ima BIM strežnik nekatere omejitve, in sicer:

- Popolna funkcionalnost BIM strežnika brez mrežne povezave ni mogoča (nižja stopnja sodelovanja).
- BIM strežnik sam po sebi ne omogoča delitev obsežnega informacijskega modela na manjše obvladljive podmodele.

### **Primer kompleksnega sodelovanja**

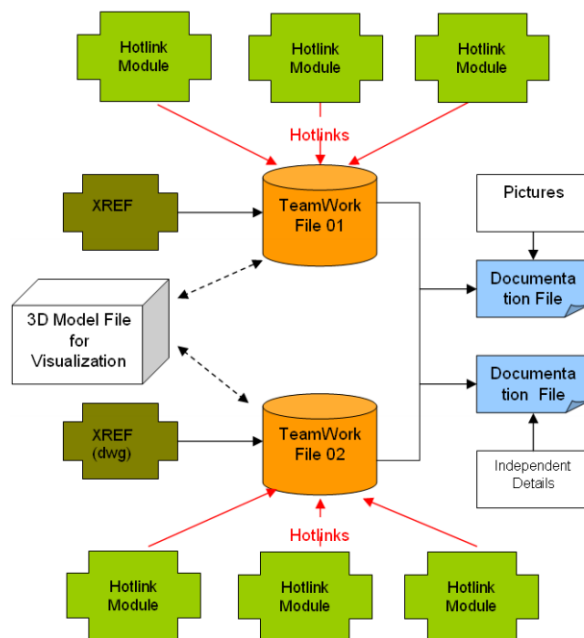
Pri obsežnih in kompleksnih gradbenih projektih običajno enolična komunikacija (npr. samo z uporabo BIM strežnika) ne zadostuje za vzpostavitev dovolj visoke stopnje sodelovanja. Skupna raba informacijskega modela objekta s skupnim odložiščem datotek vsekakor ni primerna, saj sočasno delo z modelom sploh ni mogoče. Problem sočasnega dela na istem modelu je sicer dobro rešen s principom sklicevanja na datoteke, vendar pri načrtovanju velikih gradbenih objektov, je ključnega pomena delitev (drobitev) skupnega informacijskega modela na manjše podmodele, pri čemer morajo biti pod modeli povsem avtonomni. To pomeni, da med pod modeli ne smejo obstajati odvisnosti. V splošnem je zelo



težko zagotoviti, da so vsi pod modeli avtonomni, še zlasti pri gradbenih projektih velikega obsega. Tedaj morajo za konsistentnosti informacijskega modela objekta skrbeti člani projektne skupine oz. njihov vodja. Tudi BIM strežnik ni smiselno uporabiti kot edino pravo rešitev, saj je pri velikem številu članov projektne skupine intenzivnosti vnosa sprememb precejšnja in pojavijo se lahko številni problemi, kot so:

- Preobremenjenost omrežja, kljub sinhronizaciji, ki je omejena izključno na pošiljanje sprememb.
- Čakanje posameznih članov projektne skupine zaradi rezervacij elementov informacijskega modela objekta, ki so potrebne za sočasno delo na modelu z uporabo BIM strežnika. Večje kot je število članov projektne skupine, ki sočasno vnaša spremembe v isti model, tem bolj je izražen problem rezervacij.
- Preobremenjenost BIM strežnika zaradi velikega števila posodobitev skupnega informacijskega modela objekta zaradi sinhronizacij, ki jih izvajajo člani projektne skupine.

Vsak od opisanih principov za komuniciranje ima svoje prednosti in omejitve. Pri tem je pomembno, da se način komunikacije izbere glede na potrebe oz. kontekst uporabe. Izkaže se, da je pri načrtovanju obsežnih gradbenih objektov, kjer je vključenih veliko članov projektne skupine, smiselno kombinirati različne načine komuniciranja. Splošno uveljavljen princip v takšnih primerih je razdelitev obsežnega gradbenega projekta na dva ali tri manjše podprojekte, ki so med seboj neodvisni. Komunikacijo med člani projektne skupine, ki je zadolžena za posamezni podprojekt pa je smiselno vzpostaviti s kombinacijo BIM strežnika in s klicenjem na datoteke, kot prikazuje slika 7.



Slika 7: Povezovanje projektne skupine v primeru obsežnega projekta (Graphisoft, 2012).

## Verzioranje

[http://www.inpro-project.eu/docs/InPro\\_OverviewInformationManagementApplications.pdf](http://www.inpro-project.eu/docs/InPro_OverviewInformationManagementApplications.pdf) (glej poglavje 4)



Informacijski modeli gradbenih objektov – zapiski predavanj  
Peter Podbreznik, Nenad Čuš Babič

[Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Deljenje pod enakimi pogoji](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## Vprašanja

1. Kaj je to projektna pisarna? Opišite!
2. Opišite malo strukturo male projektne pisarne, njene omejitve in prednosti.
3. Opišite malo strukturo velike projektne pisarne.
4. Kaj je ključni izziv pri reševanju obsežnih projektov in kakšne so rešitve?
5. Katere načine komunikacije poznamo pri zagotavljanja skupne rabe informacijskega modela objekta?
6. Kaj je to odložišče datotek?
7. Kaj je to asinhrona komunikacija?
8. Opišite tehnološke različice odložišča datotek.
9. Kakšne so prednost in omejitve odložišča datotek?
10. Opišite skupno rabo datotek.
11. Katere so prednosti in omejitve skupne rabe datotek?
12. Kaj je to požarni zid in čemu je namenjen?
13. Kaj so to računalniški oblaki?
14. Naštete nekaj storitev, ki omogočajo delo v računalniškem oblaku.
15. Kateri so najpogostejši načina prenosa datotek med računalnikom in računalniškim oblakom? Opišite jih!
16. Kakšen je princip sklicevanja na datoteke?
17. Kakšne so prednosti in omejitve sklicevanja na datoteke?
18. Opišite princip skupne rabe informacijskega modela objekta in naštete prednosti in omejitve.
19. Kaj je to BIM strežnik?
20. Kakšne načine sinhronizacij poznamo? Opišite posamezni način sinhronizacije.
21. Opišite še dodatne funkcionalnosti BIM strežnika.
22. Naštete ključne prednosti BIM strežnika?





## Kazalo

Sodelovanje znotraj projektne pisarne .....	1
Projektne pisarne .....	1
Mala projekta pisarna .....	1
Velika projektna pisarna .....	2
Sočasna uporaba informacijskega modela objekta .....	2
Odložišče datotek.....	3
Sklic na datoteke .....	7
Skupna raba informacijskega modela objekta .....	8
Primer kompleksnega sodelovanja .....	11
Verzioriranje .....	13
Vprašanja .....	14



## Kazalo slik

Slika 1: Struktura velike projektne pisarne. ....	2
Slika 2: Koncept skupnega odložišča. Puščice z rdečo piko predstavljajo prenos celotne datotek, ki vsebuje zapis informacijskega modela objekta (Graphisoft, 2012). ....	4
Slika 3: Shematski prikaz povezovanja naprav v omrežju z uporabo požarnega zidu (TechnoHungama, 2012). ....	5
Slika 4: Osnovni princip delovanja računalniškega oblaka (Businesses, 2011). ....	6
Slika 5: Informacijski modela objekta s sklici na podmodele (Graphisoft, 2012). ....	7
Slika 6: Shematski prikaz delovanja BIM strežnika (Graphisoft, 2012). ....	9
Slika 7: Povezovanje projektnih skupin v primeru obsežnega projekta (Graphisoft, 2012). ....	12



## Literatura

Businesses, S. B. T. for G. (2011). Wait! What is Cloud Computing?  
<http://www.smallbiztechnology.com/archive/2011/09/wait-what-is-cloud-computing.html/>.

Graphisoft. (2012). BIM Curriculum Lecture Notes: BIM Lecture 5 - Internal Collaboration.

TechnoHungama. (2012). Top 5 Free Firewall Software for Windows.  
<http://www.technohungama.com/top-5-free-firewall-software-for-windows/>.



## Sodelovanje med partnerji v gradbenem projektu

Grajenje objektov je kompleksna dejavnost, ki zahteva medsebojno sodelovanje različnih strokovnjakov. Če se omejimo le na tehnično izvedbo gradbenega objekta, hitro ugotovimo, da pri grajenju sodelujejo arhitekti, gradbeniki različnih specializacij in tudi predstavniki drugih, predvsem tehničnih strok.

V organizacijskem smislu se dejavnost izvaja v obliki projektov. Udeleženci posameznega gradbenega projekta so mnogokrat med seboj povezani samo za čas enega projekta. Hkrati so seveda lahko vključeni v več različnih projektov. V vsakem projektu se posamezno podjetje povezuje z drugimi partnerji in prevzema enake ali drugačne projektne vloge. Po velikosti v gradbeni industriji prevladujejo manjša in srednje velika podjetja. V projektih običajno prevzemajo podobne vloge, za katere se posamezno podjetje specializira. Nekatera večja podjetja pa v različnih projektih prevzemajo tudi različne projektne vloge. Značilna je tudi hierarhična organiziranost projektnih partnerjev, kjer se dela in odgovornosti, ki jih prevzema en pogodbenik, delijo med podpogodbenike.

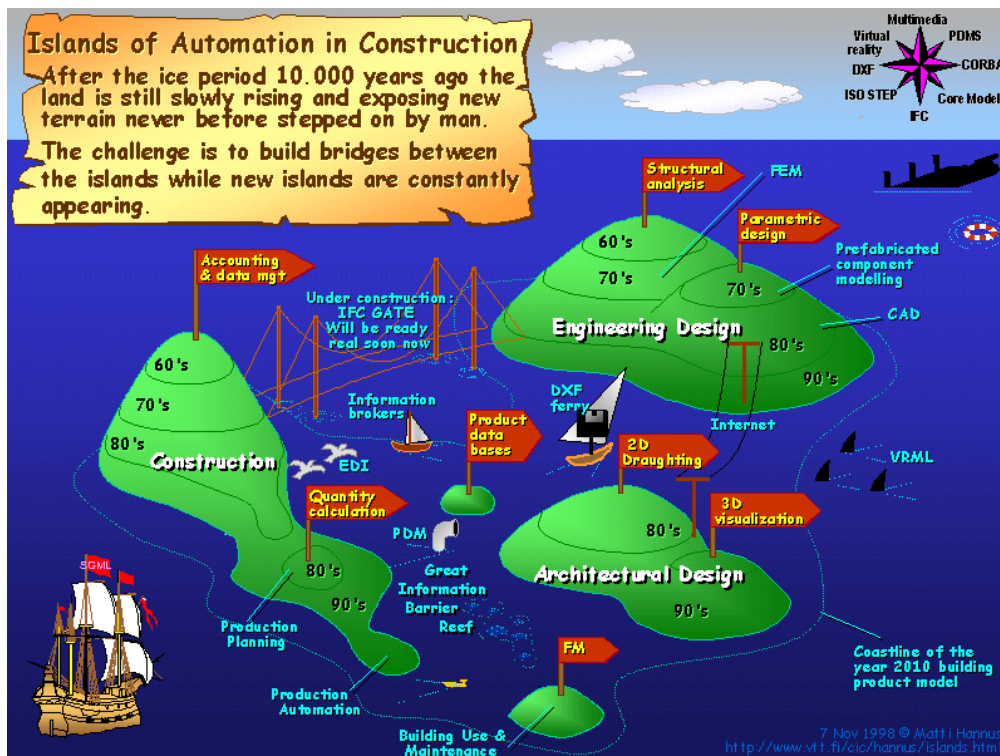
V informacijskem smislu posamezni udeleženci projekta pri svojem delu uporabljajo veliko število različnih orodij, ki učinkovito podpirajo metode dela na posameznem področju specializacije udeleženca. Pri tem generirajo veliko število kompleksnih dokumentov, kot so risbe, načrti, izračuni, analize, poročila itd. Značilnost vseh naštetih dokumentov pa je, da so nestrukturirani, oziroma da njihova struktura ni eksplicitno opredeljena. Ti dokumenti imajo svojo implicitno strukturo, ki jo določa vsebina samega dokumenta, nimajo pa podanih formalno zapisanih pravil o strukturi posameznih dokumentov in v njih shranjenih informacij. Nestrukturiranost z vidika avtomatizirane obdelave in izmenjave informacij prinaša veliko težav.

## Informacijski modeli objektov

Ena izmed težav, ki se odraža v vsakdanji praksi, so tako imenovani otoki avtomatizacije, ki jih prikazuje slika 1, kjer so posamezna področja gradbenega procesa avtomatizirana in tudi sorazmerno dobro podprta s specializiranimi programskimi orodji, vendar so področja z vidika celotnega projekta in celotnega življenjskega cikla gradbenega objekta nepovezana in zato manj učinkovita.

Zaradi večje učinkovitosti zato težimo k boljši povezanosti posameznih področij in udeležencev projekta. Slika 1 prikazuje medsebojno povezovanje udeležencev v gradbenem projektu s pomočjo različnih informacijskih tehnologij (IT) s katerimi poskušajo medsebojno izmenjevati projektne informacije. Vsi ti parcialni napor k vzpostavitvi učinkovite komunikacije so pripeljali do razvoja koncepta, ki ga imenujemo informacijski model objekta (*ang. Building Information Model*) ter z njim povezanega procesa, ki ga imenujemo Informacijsko modeliranje objektov (*ang. Building Information Modeling*). Tako model kot modeliranje v angleški literaturi označujemo s kratico BIM, ki jo bomo v besedilu uporabljali tudi mi.





Slika 1: Otoki avtomatizacije (Hannus et al. 1997).

BIM pospešuje procese sodelovanja med udeleženci projekta. Koncept se je začel najprej uveljavljati v zgodnjih fazah projekta, saj je za zgodnejše faze (priprava projekta, zgodnje načrtovanje, podrobno načrtovanje) značilno, da v teh fazah informacije večinoma pripravljamo, oblikujemo in vzdržujemo njihovo ažurnost s pomočjo računalnikov. S pomočjo BIM lahko udeleženci izmenjujejo informacije bolj konsistentno in celovito, kot če bi to počeli npr. tako, da podatke iz enega programskega orodja izvozimo datoteko v formatu, ki ga podpira drugo orodje. Drugi razlog, ki je spodbudil uporabo BIM v zgodnjih fazah projekta pa je ta, da je tedaj mogoče bistveno vplivati na stroške projekta. Če imamo na voljo ustrezne informacije in orodja za njihovo obdelavo, lahko izvedemo simulacije na osnovi katerih je mogoče sprejemati bolj utemeljene odločitve in tako bistveno vplivati na skupne stroške projekta, karo tudi na končno uporabnost objekta.

V kasnejših fazah projekta, kot npr. med gradnjo ter po končanem projektu, v fazi vzdrževanja, se prav tako pojavlja potreba po uporabi podatkov o objektu ter izmenjavi le-teh za potrebe planiranja in koordinacije del, vzdrževanja v skladu s standardi in za potrebe prenove obstoječih zgradb. Tudi v teh primerih je sodelovanje med partnerji lažje, če je komunikacija zasnovana na informacijskem modelu objekta.

V zvezi s sodelovanjem različnih udeležencev projekta in zbiranjem in obdelavo podatkov o objektu v različnih fazah projekta se je potrebno zavedati, da sodelovanje v posameznih projektnih fazah poteka na osnovi specifičnega pogleda stroke na objekt v izgradnji. Prav zato preprosti pristopi k izmenjevanju informacij s pomočjo datotek, ki jih preprosto izvozimo iz enega programa in uvozimo v drugega pri bolj kompleksnih oblikah sodelovanja hitro odpovejo. Za učinkovito sodelovalno delo



potrebujemo zapis, ki integrira različne vidike v povezano celoto. Prav zato je BIM v kontekstu sodelovalnega dela še posebej koristen.

## Sodelovanje

Glede na to, da je v gradbenem projektu udeleženih veliko partnerjev, ki vsi delujejo s skupnim ciljem, je med temi partnerji potrebno zagotoviti zadostno stopnjo sodelovanja. V izboljšanju sodelovanja gradbena industrija vidi enega izmed ključev do učinkovitega izvajanja projektov, ki daje boljše rezultate, kot t.i. »tradicionalni« način izvedbe projektov. V tradicionalnem načinu izvedbe projektov namreč udeleženci le malo sodelujejo. Vsak skrbi le za izvedbo svojega dela posla. Celovit skupni cilj, to je objekt grajenja, pa posameznih udeležencev ne zanima preveč. Celovito na projekt gledajo le glavni pogodbeniki in naročniki. Rezultat takšnega razmišljanja so številne težave, ki nastopijo, ko se posamezni izvajalec vključuje v projekt, njegove specifične zahteve pa v predhodnih fazah projekta niso bile upoštevane. Tako hitro uvidimo, da je sodelovanje številnih udeležencev pomembno za učinkovito izvedbo, kakor tudi za višjo kakovost končnega izdelka.

Ob tem se lahko vprašamo kaj sodelovanje sploh je. Številne definicije sodelovanja zajemajo nekaj ključnih skupnih vidikov. Za sodelovanje je značilna medsebojna konstruktivna povezanost, ki daje rezultate, ki jih noben udeleženec brez udeležbe v sodelovanju ne more doseči samostojno. V tem smislu je sodelovanje več kot vsota njegovih delov. Skozi sodelovanje udeleženci v procesu doseganja skupnega cilja izmenjujejo znanje, sklepajo dogovore in se dopolnjujejo v strokovnosti.

Iz definicij sodelovanja lahko sklepamo, da udeleženci od sodelovanja pričakujejo tudi določene koristi. Koristi za udeležence se lahko izražajo v prihrankih ali v višanju kakovosti. V vsakem primeru pa sodelovanje hitro usahne, če ni vzajemnih koristi. To je zelo pomembna predpostavka, ki se zdi samoumevna, ko obravnavamo npr. ekonomske vidike nekega problema. Zelo hitro pa jo zanemarimo pri oblikovanju vzajemnih odnosov v tehnoloških procesih, kakršen je npr. grajenje. Še tako učinkovita podpora sodelovanju s strani informacijskih tehnologij ne bo zares zaživela, če hkrati ne zagotavlja koristi iz takšnega sodelovanja za vse udeležence. Za uspešno sodelovanje je pomembno, da vsak udeleženec razume čemu je sodelovanje namenjeno, sprejema to skupno vizijo in mu je tudi jasno, kako bo skupaj z drugimi udeleženci uresničil cilje sodelovanja. Za razliko od samostojnega dela sodelovanje ob aktivni udeležbi vključuje tudi stalno odzivanje na povratne informacije, ki so posledica oz. odziv drugih udeležencev na lastno aktivno udeležbo. Prav zato je dobro sodelovanje vedno odvisno od skupno zastavljenih in skupaj sprejetih ciljev, katerih doseganje temelji na pozitivni soodvisnosti.

Da bi sodelujoči v procesu s skupnimi napori dosegali cilje, je ob vzajemnih koristih potrebno vzpostaviti tudi ustrezen nivo zaupanja. Za razumevanje koncepta zaupanja se moramo zavedati kdo sploh so elementi sistema, ki na vzpostavitev zaupanja vplivajo. Če pogledamo zelo na splošno, lahko ugotovimo, da je sodelovanje strukturiran proces, ki deloma nadomešča, deloma pa dopolnjuje druge procese, ki jih udeleženci izvajajo samostojno. Torej se sodelovanje dogaja v določenem kontekstu. Ker je sodelovanje transakcijski proces in ne more obstajati tam, kjer je samo en udeleženec, temveč vedno zahteva vključitev vsaj dveh ali več udeležencev, je nujno potrebna tudi njihova medsebojna komunikacija. Komunikacija pa je tisti segment sodelovanja, ki se naslanja še na tehnologijo. Iz



povedanega lahko opredelimo tri osnovne elemente sodelovalnega sistema: ljudi, procese in tehnologijo. Za uspešno sodelovanje se mora vzpostaviti zaupanje med udeleženci in tudi udeleženci morajo imeti določeno zaupanje v tehnologije, ki podpirajo sodelovanje.

Vsak element ima svoje značilnosti, ki pomembno doprinesejo k uspešnosti sodelovanja. Žal se še vedno velikokrat zgodi, da mislimo, da so tehnologije tiste, s katerimi bomo najpomembneje vplivali na dobro sodelovanje. Razmislek, ki temelji na prejšnjih dveh odstavkih o medsebojni koristi in grajenju zaupanja pa bi nas vendarle moral prepričati, da so ljudje najpomembnejši faktor sodelovanja. Na tem mestu to še posebej poudarjamo, saj se bomo v nadaljevanju osredotočili predvsem na tehnološke rešitve, ki so v podporo sodelovanju v procesih grajenja. Zavedati se je potrebno, da tudi z najbolj naprednimi informacijskimi in komunikacijskimi tehnologijami ne bomo razrešili problemov sodelovanja, če se ne bomo posvečali ljudem, njihovim medsebojnim odnosom in organizaciji procesov v katerih ti ljudje sodelujejo.

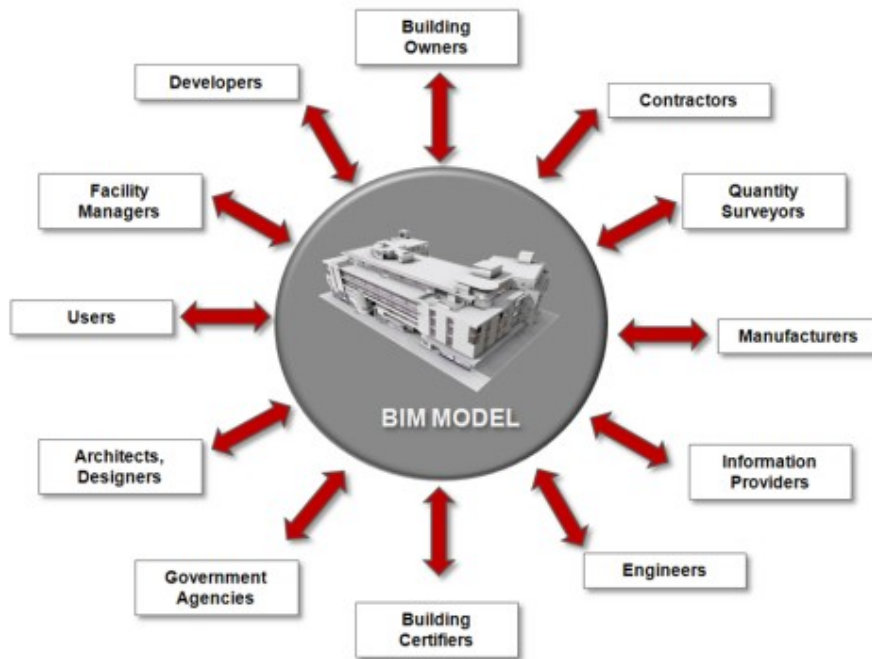
**Opomba:** Podrobneje si o sodelovanju in informacijskih tehnologijah za podporo sodelovanju, računalniško posredovani komunikaciji ter medsebojnih vplivih tehnologije in njenih uporabnikov lahko preberete v knjigi Collaboration 2.0 (Coleman & Levine 2008).

## Sodelovanje med zunanjimi partnerji zasnovano na BIM

V nadaljevanju si bomo pogledali vlogo informacijskega modeliranja ter informacijskih modelov za sodelovanje med udeleženci procesa grajenja in tudi vzdrževanja objektov. Opisali bomo temeljni koncept sodelovanja z uporabo BIM in izpostavili njegove ključne komponente ter predstavili nekaj praktičnih rešitev, ki se na tem področju uporabljajo.

Omenili smo že, da je gradbeništvo razdrobljena panoga v kateri nastopa veliko število neodvisnih udeležencev iz različnih področij, ki se začasno povezujejo za potrebe izvedbe gradbenega projekta. Kot prikazuje slika 2, med udeležence prištevamo arhitekta, inženirje različnih strok, pogodbenike, izvajalce, kalkulante, proizvajalce sestavnih delov, vzdrževalce, uporabnike ter mnoge druge akterje. Ker vsi ti udeleženci gradijo isti objekt morajo pri tem sodelovati in tudi stalno izmenjevati informacije o objektu. Izmenjava informacij poteka tako v fazi načrtovanja, kot tudi v fazi grajenja in vzdrževanja objekta.





Slika 2: Udeleženci gradbenega projekta, ki sodelujejo na osnovi BIM (Graphisoft 2012).

BIM tehnologije vsem navedenim akterjem omogočajo lažjo in učinkovitejšo izmenjavo informacij ter podajajo tehnološko osnovo za sodelovanje. Udeleženci izmenjujejo podatke o objektu preko skupnega modela. Pri tem pa niso zavezani enemu samemu formatu zapisa podatkov. Še vedno se v praksi pojavljajo različne **oblike** zapisovanja podatkov o objektu. To je posledica različnih vidikov, ki so pomembni za posamezne izvedbene faze. Arhitekt potrebuje pri svojem delu podatke o objektu prikazane drugače kot izvajalci na gradbišču, ti pa spet drugače kot vzdrževalci objekta. V praksi zato srečamo tako datoteke v oblikah IFC, DWG, DXF, PDF, HTML in mnogih drugih. Vsaka oblika pa je prilagojena delovnim potrebam posameznega udeleženca.

Druga pomembna delitev po kateri se udeleženci projekta med seboj razlikujejo se nanaša na **strukturo** podatkov, ki jih posameznik pri svojem delu potrebuje. Razlike v strukturi podatkov moramo ločiti od razlik v prikazu podatkov. Posamezne stroke namreč pri svojem delu iste dele objekta strukturirajo drugače zaradi metod, ki jih pri svojem delu uporabljajo. Prav tako gradnike objekta obravnavajo na različnem nivoju podrobnosti. BIM pristop olajša transformacije v strukturi podatkov in tako omogoča semantično bogatejšo izmenjavo podatkov in na ta način tudi boljše podpira sodelovanje.

### Izmenjava podatkov o modelu

Računalniški programi navadno omogočajo shranjevanje podatkov v različne formate. Najprej seveda v lastni format datotek. Ta format je običajno prilagojen notranjim podatkovnim strukturam programa in slednje so prilagojene za izvajanje operacij, ki jim je program namenjen.





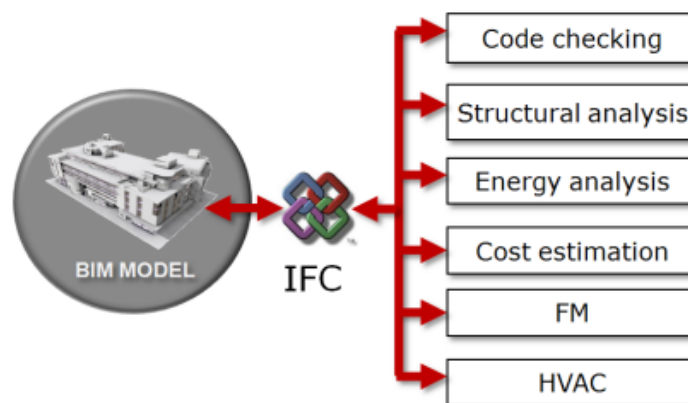
Za izmenjevanje podatkov o BIMu uporabljamo format IFC (BuildingSmart n.d.) ter nekatere druge podatkovne formate, kot npr. STEP (ISO 1994). V nadaljevanju se bomo osredotočili na format IFC, omenili pa bomo tudi format XML (W3C n.d.).

### IFC

Format IFC (*Industry Foundation Classes*) (BuildingSmart n.d.) izhaja iz dogovora med proizvajalci, ki izdelujejo programsko opremo temelječo na BIM principih in je namenjena podpori gradbeni industriji. Format je bil sprejet najprej kot industrijski standard, nato pa tudi kot mednarodni ISO standard. Omogoča izmenjavo modelov med aplikacijami, ki so namenjene tako arhitekturnemu oblikovanju, inženirskemu načrtovanju, kakor tudi vodenju projektov. Format omogoča eksplicitno ohranjanje semantike prenesenih podatkov, kar z drugimi besedami pomeni, da se pri prenosu iz ene aplikacije v drugo nedvoumno ohranja pomen posameznih gradnikov. Če v eni aplikaciji določen gradnik opredelimo kot npr. okno ali zid, bo isti element tudi v ostalih BIM aplikacijah prepoznan kot okno ali zid.

Celoten model je zgrajen iz podatkovnih elementov, ki predstavljajo dejansko stavbo in njene dele (npr. zgradba, nadstropje, plošča, steber itd.). Za posamezne gradnike je mogoče zapisati geometrijske značilnosti v 3D, povezave med elementi ter druge značilnosti, ki so pomembne za načrtovanje in izvedbo. Med drugim so to podatki o materialih, specifične zahteve glede udobja ali varnosti in podobno. Prav tako zapis omogoča opisati tudi procese in aktivnosti, ki naj bi se med gradnjo zgodile.

Zapis IFC predstavlja splošen okvir za izmenjavo informacij o grajenih objektih in predstavlja osnovo za interoperabilnost med aplikacijami skozi celoten življenjski cikel objekta. Udeleženci gradbenega projekta izmenjujejo informacije o objektu preko skupnega BIM modela, IFC pa v tem kontekstu zagotavlja platformo za dvosmerno izmenjavo podatkov med modelom in posamezno aplikacijo, kot prikazuje slika 3.



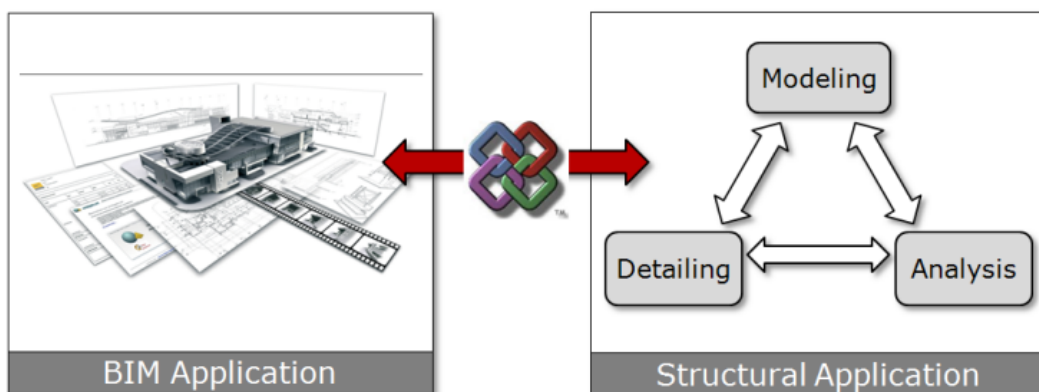
Slika 3: Dvosmerne povezave med BIM in aplikacijami z uporabo IFC (Graphisoft 2012).



Kot smo že omenili, udeleženci projekta, ki delujejo na različnih strokovnih področjih, imajo tudi različne potrebe po podatkih o objektu, oziroma objekt opazujejo s svojega vidika. Zato so tudi modeli, ki nastajajo v okviru različnih strok strukturirani na drugačen način.

### Primer 1: Delovni proces modeliranje-analiza konstrukcij-detajli

S pomočjo BIM in IFC želimo izboljšati delovni proces, ki za osnovo uporabi arhitekturni model in ga pretvori v model uporaben za avtomatizirano proizvodnjo gradnikov (npr. za upravljanje CNC strojev). Kot prikazuje slika 4, je arhitekt pripravil arhitekturni model z modelirnikom, ki omogoča shranjevanje modela v format IFC, ki ga lahko uporabimo ali za prenos modela v strežnik BIM ali pa za neposreden prenos modela v aplikacijo za analizo konstrukcij.



Slika 4: IFC izmenjava podatkov med arhitektom in konstrukterjem (Graphisoft 2012).

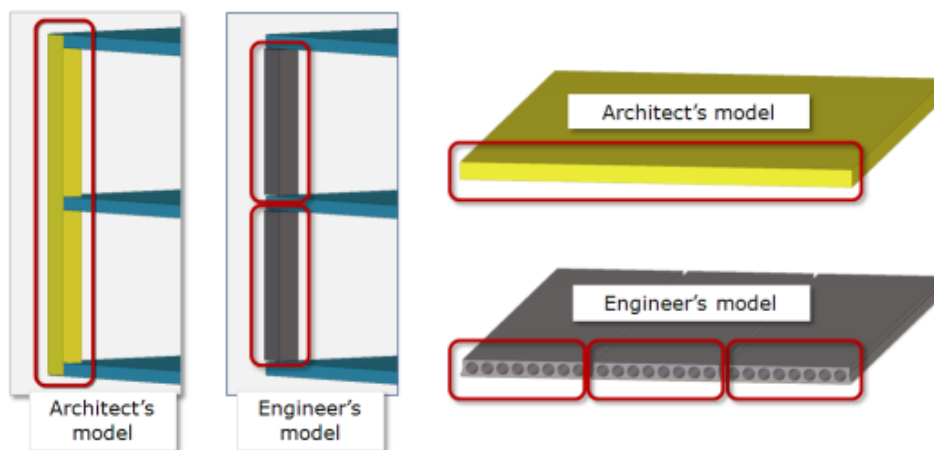
Konstrukter uvozi arhitekturni model v aplikacijo za analizo konstrukcij in iz njega pripravi analitični model, s katerim bo izvedel potrebne analize in izračune. Rezultate analiz in model uporabi v aplikaciji za podrobno modeliranje, kjer oblikuje detajle in pripravi predloge za programiranje CNC strojev.

Izmenjava podatkov na BIM osnovi navadno poteka tako, da skupni model strokovnjak na posameznem področju uporabi le kot osnovo za svoje delo in si na tej osnovi zgradi svoj podroben model ali pa dejansko uporabi že pripravljen podroben skupni model ali njegov del. V vsakem primeru je potrebno zagotoviti skupni referenčni model, saj bodo tudi rezultati podrobnega modeliranja na posameznem področju kasneje integrirani v celoten BIM. Omenjeni koncepti so ilustrirani v dveh praktičnih primerih (glej Primer 1 in Primer 2).

### Primer 2: Struktura modela različnih strok

Arhitekt v skici predstavi steber (slika 5, levo), ki se razteza skozi dve nadstropji. Isti steber bo kasneje projektant za potrebe analize konstrukcij obravnaval kot dva elementa. Prav tako bo isti steber v podrobnem modelu izveden v obliki dveh stebrov za vsako nadstropje posebej in bo v tej obliki informacija posredovana v proizvodnjo predfabriciranih elementov.





Slika 5: Različno strukturiranje istega elementa za potrebe posameznih strok (Graphisoft 2012).

V drugem primeru (slika 5, desno) je prikazan enak princip apliciran na ploščo. Arhitekt predstavi ploščo v celoti, inženir pa isto ploščo obravnava kot sestav več standardnih panelov.

Pri kombiniranju posameznih podmodelov je zelo pomembno dejstvo, da je vsaka stroka odgovorna za pripravo in vzdrževanje podatkov znotraj lastnega podmodela, oziroma mora skrbeti za lastni vidik celotnega modela. Arhitekt ne more odgovorno skrbeti za analitične modele, ki jih pripravijo projektanti različnih podsistemov in obratno, npr. konstrukter ne more spreminjati arhitekturne zasnove. Stalno pa je potrebno zagotavljati sinhronost posameznih vidikov in podmodelov znotraj celovitega informacijskega modela objekta.

### Building SMART

Za zapis IFC skrbi neodvisna mednarodna neprofitna organizacija BuildingSmart (prej mednarodna zveza IA - International Alliance for Interoperability, deluje od leta 1995) (BuildingSmart n.d.). V združenju sodelujejo organizacije, ki se zavzemajo za usklajen razvoj gradbeništva, večjo produktivnost in učinkovitost industrije.

Skupni cilj partnerjev BuildingSmart je vzpostaviti univerzalno platformo za izmenjavo informacij za potrebe gradbene industrije. Pri tem sodelujejo predstavniki razvijalcev programske opreme, kot so Autodesk, Bentley, Nemetschek, Graphisoft skupaj s predstavniki gradbene industrije in vladnimi organizacijami. BuildingSmart ima lokalna zastopstva po vsem svetu.

### Referenčni model in primerjava modelov

Posamezen vidik končnega objekta pripravijo in modelirajo strokovnjaki različnih profilov. Vsak je odgovoren za svoj del priprave projektne dokumentacije. Modeli se uporabljajo znotraj posamezne stroke za izvedbo potrebnih analiz in iskanje ustreznih rešitev v zvezi z različnimi vidiki izvedbe projekta. Modeli, ki nastajajo znotraj ene stroke, po eni strani predstavljajo informacijo, ki jo drugi udeleženci projekta kasneje potrebujejo. Zato je potrebno model posredovati od enega udeleženca projekta k drugemu. Po drugi strani pa zaradi večje učinkovitosti želimo obstoječe modele ponovno

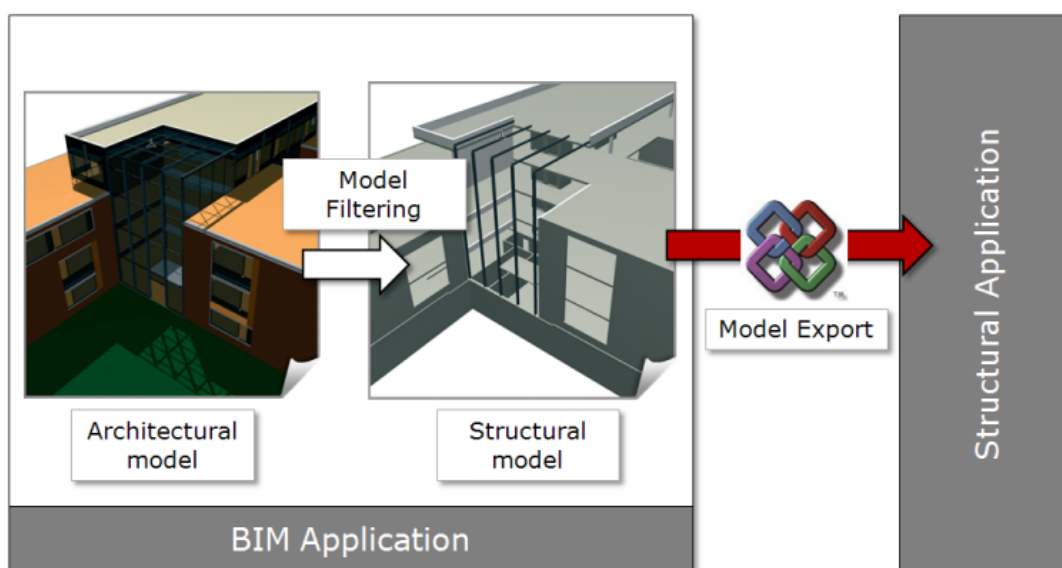


uporabiti zato, da jih ni potrebno znotraj vsake posamezne aktivnosti graditi ponovno. V obeh primerih model z določenega vidika pripravi en udeleženec projekta in ga posreduje ostalim.

V prejšnjem razdelku smo opisali, da se lahko modeli za posamezne aktivnosti projekta strukturno med seboj razlikujejo (Primer 2). Zato model, ki ga pripravi en izvajalec, navadno ni neposredno uporaben za drugega in je potrebno narediti transformacijo iz ene strukture v drugo. Če tisti, ki bi obstoječi model ponovno uporabil, morda ne potrebuje vseh elementov osnovnega modela, lahko pred prenosom podatkov model filtriramo in med partnerjema se prenaša le del osnovnega modela (Primer 3).

### Primer 3: Filtriranje modela

Arhitekt med projektiranjem označi elemente modela tudi glede na njihov namen, npr. vsem elementom nosilne konstrukcije se določi to kot lastnost elementa, hkrati se lahko določi tudi osnovni material ali standardni tip elementa (npr. standardni profil). Za potrebe analize konstrukcij lahko arhitekt posreduje v analizo le tiste informacije, ki so za to potrebne. Iz celotnega modela s filtriranjem izloči konstrukcijske elemente in le-te posreduje naprej, kot prikazuje slika 6.



Slika 6: Filtriranje modela pred izvozom iz modelirnika (Graphisoft 2012).

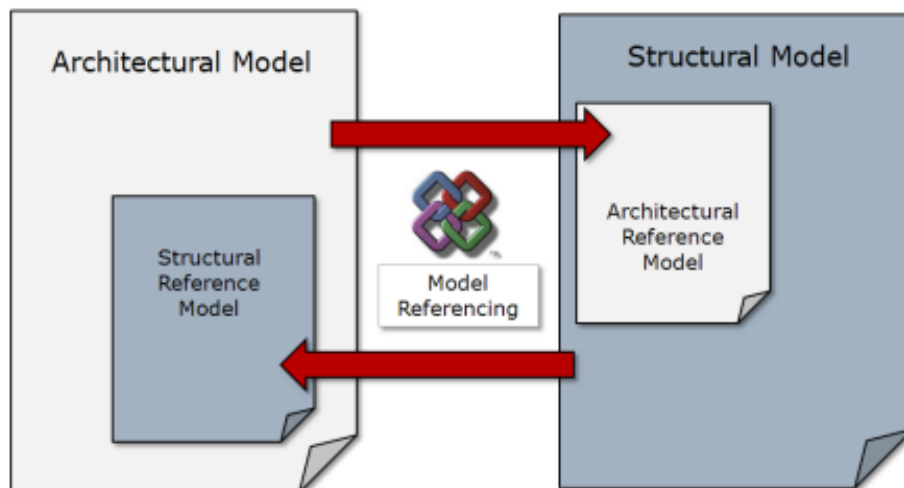
Filtriranje elementov se lahko opravi tudi pri uvozu v aplikacijo za analizo. V tem primeru arhitekt posreduje celoten arhitekturni model.

Po drugi strani pa lahko partnerja izmenjata celoten model, vendar zaradi drugačne strukture modela ne uporabita neposredno temveč ga uporabita le kot podlago za izdelavo lastnega modela. Model, ki ga uporabimo le kot podlago, imenujemo referenčni model. Primer 4 ilustrira izmenjavo podatkov z uporabo referenčnega modela.



#### Primer 4: Uporaba referenčnih modelov

V modelirniku za arhitekturno projektiranje arhitekt pripravi arhitekturni model objekta. Model je strukturiran skladno z zahtevami arhitekturne stroke in zadostuje potrebam arhitekturnega načrtovanja. V fazi načrtovanja je za objekt potrebno izvesti tudi statično analizo konstrukcije. V te namene inženirji uporabljajo specializirane aplikacije. Glede na to, da je arhitekturni model osnova nadaljnjemu delu, je smiselno, da le-tega ponovno uporabimo tudi za potrebe statične analize. Med aplikacijama izmenjamo model v obliki IFC zapisa, kot prikazuje slika 7.



Slika 7: Izmenjava referenčnih modelov z IFC (Graphisoft 2012).

Aplikacija za analizo potrebuje drugače strukturiran model. Zato arhitekturni model uvozimo le kot referenco, na osnovi katere zgradimo analitični model. Vse spremembe v modelu, ki nastanejo na osnovi analize posredujemo nazaj spet v obliki IFC zapisa. V arhitekturnem modelirniku analitični model uporabimo kot referenco, s katero arhitekt dopolni arhitekturni model.

Prednost uporabe referenčnega modela je v tem, da izvornega modela ne spreminjamo, kar je pomembno iz vidika odgovornosti in kompetenc udeleženca, ki je izvorni model izdelal. Tako tisti, ki je izdelal model in ga posredoval drugemu udeležencu ostane odgovoren za vzdrževanje modela, drugi pa samo črpa potrebne informacije, ki jih uporablja za razvoj svojih modelov. Vsaka stroka tako deluje na svojem modelu, ki je neodvisen od modelov drugih strok. Naprednejši sistemi vzdržujejo povezavo med elementi neodvisnih modelov in omogočajo preprosto vzdrževanje skladnosti. Iz primera 4 vidimo, da je lahko ta povezava obojestranska, arhitekt posreduje arhitekturni model inženirju, slednji pa na osnovi analize konstrukcije lahko predlaga spremembe in svoj model konstrukcije posreduje nazaj arhitektu. Arhitekt prejeti model uporabi kot referenčno osnovo za spremembe v začetnem arhitekturnem modelu.

Namesto po principu referenčnega modela lahko udeleženci podatke izmenjujejo tudi z neposredno uporabo izvornega modela. V tem primeru udeleženec pridobi model in ga uvozi v svojo aplikacijo.



Pri uvozu aplikacija model pretvori v novo obliko, t.i. interni podatkovni format. Pri pretvorbi se tvori nova struktura, ki ustreza potrebam metod dela in vidikom ciljnega okolja, izvorni model pa se izgubi.

Do sedaj smo spoznali, da pri različnih opravilih uporabljamo različno strukturirane modele. Med strokami je zato potrebno zagotoviti mehanizme za primerjavo modelov in upravljanje sprememb. Prav tako se tudi znotraj stroke pojavlja uporaba več modelov, saj se med projektom model objekta spreminja. Zato nastajajo tudi znotraj posamezne stroke različne verzije modela.

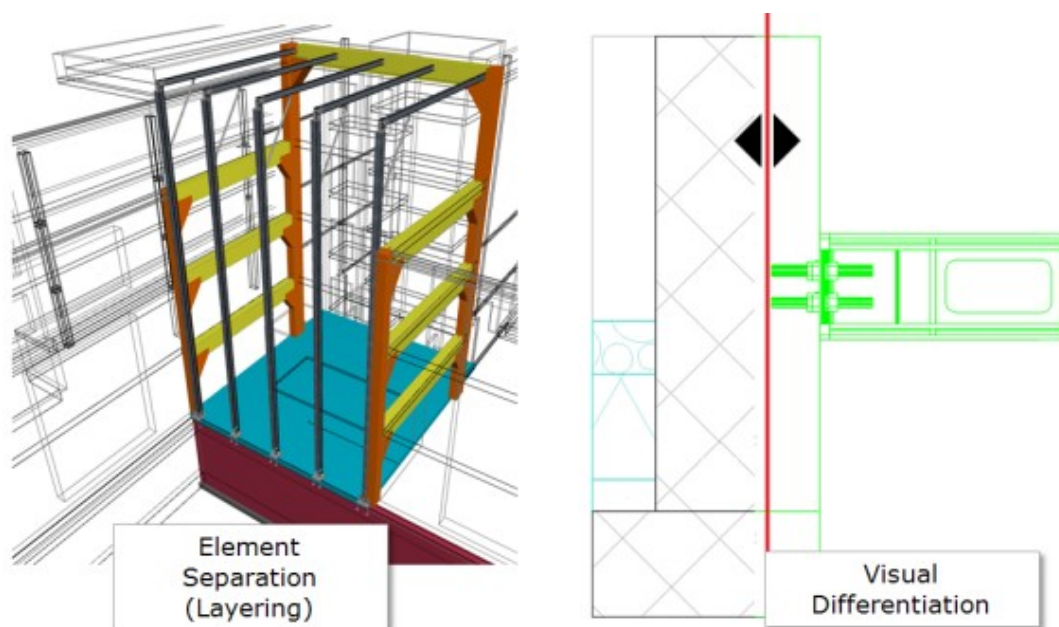
Za potrebe upravljanja verzij modelirniki ponujajo različne funkcionalnosti. Ena pomembnejših je zagotovo uporaba plasti (*ang. layers*). Z uporabo plasti lahko poljubno razvrščamo elemente modela glede na izbrani kriterij. Na primer na posebno plast razvrstimo vse elemente, ki smo jih v določenem koraku modeliranja ali analize spremenili. Modelirnik omogoča prikazovanje in skrivanje plasti ali pa prikaz plasti z različnimi barvami. Tako lahko hitro vizualiziramo spremenjene dele modela.

Podobno kot s plastmi, kjer označujemo spremembe znotraj enega modela, modelirniki večinoma omogočajo tudi osnovna orodja za vizualno primerjavo dveh modelov. V modelirniku hkrati prikažemo oba modela, enega preko drugega v polprosojnem načinu, kot bi prekrivali dve papirni risbi na osvetljenem ozadju. Primer 5 prikazuje oba navedena načina primerjave modelov.

---

#### Primer 5: Primerjava verzij znotraj modela in med modeli

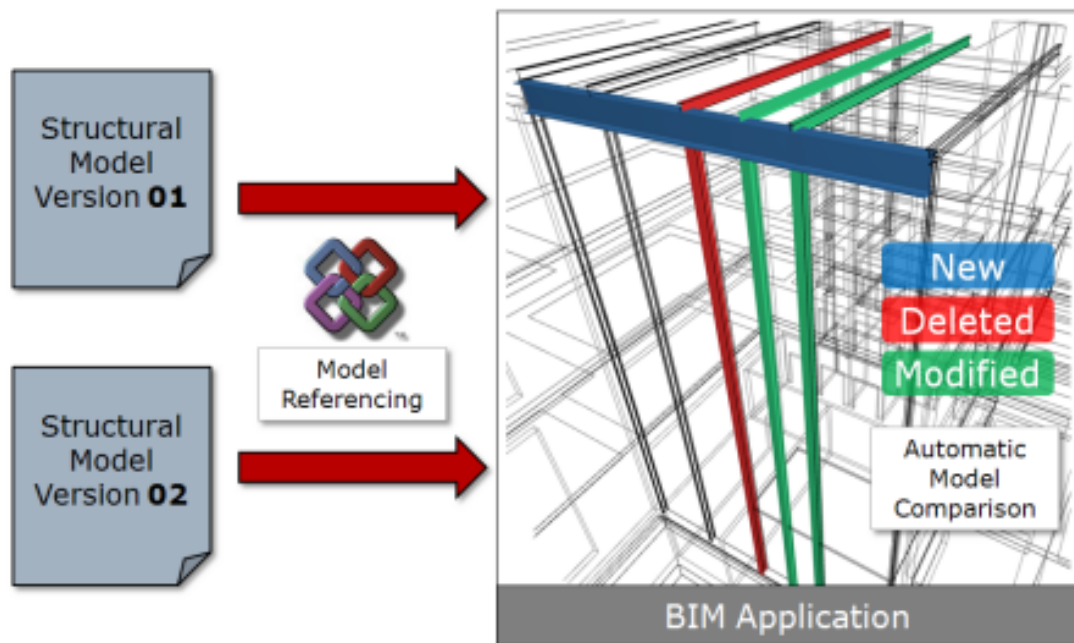
Slika 8 (levo) prikazuje model v katerem vidimo določene elemente pobarvane z različnimi barvami. Elemente iste vrste (npr. stebre, preklade) smo razvrstili na plasti glede na tip elementa. Torej vse stebre na eno plast itd. Pri vizualizaciji določimo s katero barvo naj se prikažejo elementi na posamezni plasti.



Slika 8: Delitev elementov z uporabo plasti in vizualno razločevanje (Graphisoft 2012).

Na desnem delu slike vidimo hkrati prikazana dva modela eden pod drugim. Z drsnikom (rdeča črta), ki ga premikamo levo in desno, zgoraj prikazan model prikazujemo preko podlage ali pa skrivamo. Tako hitro vidimo, kje se modela razlikujeta.

Za primerjavo modelov in upravljanje verzij obstajajo tudi specializirana orodja ali pa so funkcije posebej namenjene verzioniranju že vgrajene v sam modelirnik. Mnoge aplikacije podpirajo samodejno zaznavo sprememb, ki vključuje tako nastavitve lastnosti (npr. material) kot tudi spremembe v geometrijskih značilnostih. Funkcionalnosti upravljanja sprememb zajemajo primerjavo različnih verzij modela (npr. primerjava dveh IFC datotek), identifikacijo razlik med datotekami (kaj je novega, kaj je spremenjeno, kaj je izbrisano) ter zlivanje in sinhronizacijo sprememb v skupni model. Pri tem se navadno pripravi tudi seznam sprememb, ki uporabniku omogoča hiter pregled in navigacijo med posameznimi spremembami. Zavedati se namreč moramo, da so modeli gradbenih objektov lahko zelo kompleksni in sledenje spremembam brez ustreznih orodij v obilici elementov modela ni preprosto. Slika 9 prikazuje primer vizualizacije informacij pomembnih za upravljanje verzij.



Slika 9: Verzioniranje modelov (Graphisoft 2012).

### XML

Oznaka XML je kratica, ki predstavlja Extensible Markup Language (W3C n.d.). XML je, kot pove že njegovo ime, označevalni jezik. Namenjen je za določanje strukture podatkov zapisanih v tekstovno datoteko. Podatki so z jezikom XML strukturirani v hierarhično strukturo. Strukturo podatkov s pomočjo XML določimo tako, da posamezne podatke označimo z vnaprej definiranimi in dogovorjenimi oznakami, ki jih imenujemo tudi značke (*ang. tag*). Naslednji primer prikazuje podatke strukturirane z jezikom XML.



---

### Primer 6: Del zapis IFC v obliki XML.

Zapis barve, ki predstavlja lastnost dela informacijskega modela gradbenega objekta z identifikacijsko številko »i87«.

```
<IfcComplexProperty id="i87">
  <Name>Color</Name>
  <UsageName>Color</UsageName>
  <HasProperties>
    <IfcPropertySingleValue>
      <Name>Red</Name>
      <NominalValue>
        <IfcInteger>255</IfcInteger>
      </NominalValue>
    </IfcPropertySingleValue>
    <IfcPropertySingleValue>
      <Name>Green</Name>
      <NominalValue>
        <IfcInteger>0</IfcInteger>
      </NominalValue>
    </IfcPropertySingleValue>
    <IfcPropertySingleValue>
      <Name>Blue</Name>
      <NominalValue>
        <IfcInteger>0</IfcInteger>
      </NominalValue>
    </IfcPropertySingleValue>
  </HasProperties>
</IfcComplexProperty>
```

Izbrani del informacijskega modela objekta z identifikacijsko številko »i87« je pobarvan z rdečo bravo.

---

Iz primera vidimo, da z oznakami pred in za posameznim podatkom določimo pomen samega podatka. Ker je pomen podatkov z označevanjem določen, je mogoče podatke ob branju z računalniškimi programi tudi razumeti, interpretirati in jih ponovno uporabiti na ustrezen način.

Jezik XML omogoča ustvarjanje poljubnih oznak, kakor jih področje uporabe potrebuje za opis podatkov. Torej oznake v jeziku XML niso vnaprej določene, temveč jih je mogoče poljubno definirati. Vendar pa definiranje povsem poljubnih oznak brez vzajemnega dogovora ne bi imelo smisla, saj potem oznak, ki bi jih definiral en uporabnik, nihče drugi ne bi razumel. Zato z dogovorom med uporabniki nastajajo posebno namenski XML jeziki, torej nabori oznak, ki se uporabljajo za označevanje podatkov na posameznem področju. V gradbeni industriji se uporabljata na primer ifcXML (BuildingSmart n.d.) in gbXML (Anon n.d.). Shema icfXML označuje elemente enako kot so definirani v IFC shemi, gbXML pa je shema, ki je namenjena izmenjavi podatkov med BIM modelirniki ter različnimi inženirskimi analitičnimi orodji (npr. izračuni energetske učinkovitosti).

Jezik XML je neodvisen od platforme in tako zapisane podatke lahko berejo programi ne glede na to na kateri strojni opremi in v katerem operacijskem sistemu tečejo.



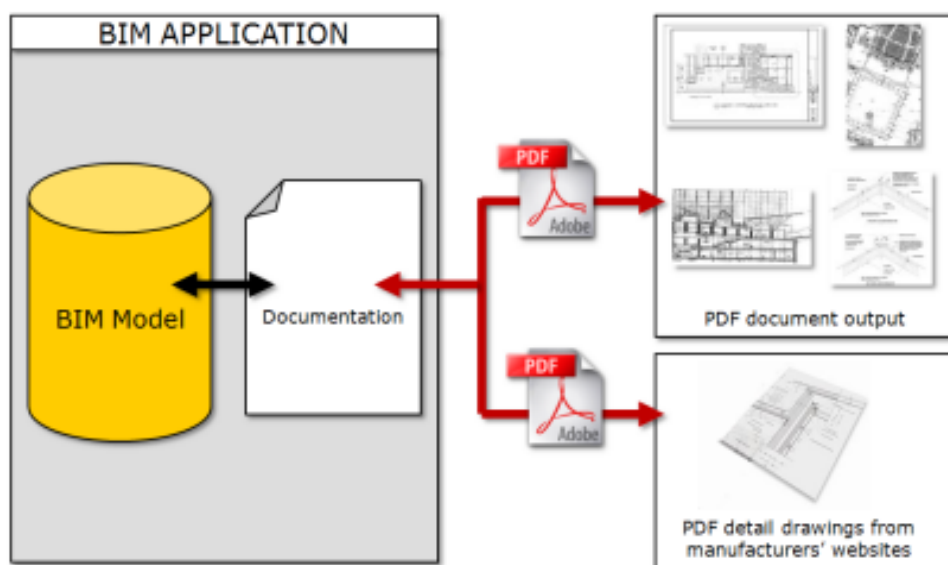


## Izmenjava dokumentov v obliki PDF

Zapis PDF (Portable Document Format) (Adobe n.d.) je razvilo podjetje Adobe Systems, vendar je od leta 2008 objavljen kot mednarodni ISO standard. Podjetje Adobe je format ponudilo v javno dobro in je od takrat prosto dostopen format, ki ga lahko brez nadomestila uporabljajo tudi drugi.

Format PDF je namenjen shranjevanju dvodimenzionalnih dokumentov na način, ki zagotavlja shranjevanje vsebine, prav tako pa tudi oblike dokumenta. Zagotavlja prenos vsebine podatkov med aplikacijami ne glede na uporabljeno strojno opremo ali operacijski sistem. V dokumentu so shranjene tudi definicije pisav (*ang. fonts*) ter celotna oblika strani dokumentov. Na nek način si dokument v PDF obliki lahko predstavljamo kot natisnjeno knjigo ali drug dokument, ki se mu oblika na papirju več ne spreminja. S tiskanjem je oblika zapisa za vselej določena. Za razliko od drugih zapisov, ki se drugače prikazujejo na zaslonu ali tiskalniku ter se pri izpisu na različne tiskalnike lahko prikažejo oblikovno vsakič drugače (npr. drugačni prelomi strani, robovi, pisave itd.), zapis PDF zagotavlja zmeraj enak prikaz. PDF zagotavlja tudi neodvisnost od resolucije prikaza, saj vključuje tako pisave, kot vektorski zapis 2D grafik, ki omogočata poljubne povečave. Dokumenti so v PDF zapisu shranjeni v stisnjeni obliki, kar zagotavlja racionalno uporabo prostora ter hiter prenos podatkov po računalniških omrežjih.

Format omogoča uporabo elektronskega podpisa ter kodiranje in zaklepanje dostopa do vsebine. S podpisom lahko zagotovimo avtentičnost dokumentov, zaklepanje pa omogoča več nivojev zaščite, ki vključuje onemogočanje vpogleda v dokument, preprečevanje kopiranja vsebine, preprečevanje izpisa in podobno.



Slika 10: BIM modelirnik in uvoz ter izvoz PDF dokumentov

BIM aplikacije v večini primerov omogočajo izvoz podatkov v PDF obliki. Uporabniki lahko pripravijo risbe in slike ter pripravijo različna poročila in specifikacije na osnovi modela ter jih izvozijo v PDF datoteko. Prav tako modelirniki omogočajo tudi uvoz PDF dokumentov, ko je shematsko prikazano na sliki 10. Proizvajalci sestavnih delov in predfabriciranih komponent navadno pripravijo kataloge svojih



izdelkov v PDF obliki. Katalogi lahko vsebujejo tudi risbe in tabele, ki jih uvozimo v modelirnik in jih kasneje uporabimo za pripravo projektne dokumentacije ter jih vključimo med svoje dokumente. PDF tako predstavlja uporaben, učinkovit in zelo razširjen način izmenjave projektne dokumentacije med udeleženci projekta.

### Primer 7: U3D in 3D modeli v PDF zapisu

Za izmenjavo 3D modelov se v gradbeni industriji uporablja standard IFC. Le-ta ob geometriji omogoča tudi zapisovanje in izmenjavo mnogih drugih podatkov, ki za druga področja uporabe niso zanimivi. Za izmenjavo 3D geometrijskih podatkov na splošno pa je nastal univerzalni standard, ki ga poimenujemo s kratico U3D (Universal 3D). U3D je odprti format, ki omogoča zapis vseh vrst 3D geometrijskih podatkov. Podjetje Adobe je standard prevzelo in vključuje podporo temu zapisu v svoje izdelke. Tako je mogoče v PDF datoteke vključiti tudi 3D modele, bralniki pa omogočajo navigacijo in pregledovanje le-teh. Standard podpirajo tudi pri podjetju Intel. Nekatere BIM aplikacije omogočajo neposreden izvoz modela v U3D zapis.



Slika 11: Primer pregledovanja 3D modela vključenega v PDF (Graphisoft 2012).

### Izmenjava risb

Eden pomembnejših vidikov komunikacije v gradbenem projektu je izmenjava risb. Ne glede na vse večjo razširjenost 3D modeliranja in BIM, v procesu gradnje 2D risba še vedno zaseda zelo pomembno mesto.

#### *DWG in DXF*

Format DWG (okrajšava za besedo risba, *ang. drawing*) (Autodesk n.d.) je namenjen shranjevanju risb v vektorski grafiki. Je izjemno razširjen format in predstavlja dejanski industrijski standard za shranjevanje 2D risb, čeprav je DWG osnovni datotečni zapis Autodeskovih aplikacij, tudi njihove najbolj znane aplikacije AutoCAD in podjetje si še vedno lasti pravice za uporabo in nadaljnji razvoj



tega zapisa. Vendar pa tudi večina drugih CAD programov zna brati in zapisovati podatke v DWG formatu. DWG je tako med arhitekti in inženirji uveljavljen zapis za izmenjavo risb.

Glede na to, da so pri podjetju Autodesk format zapisa DWG smatrali kot zasebnega in niso želeli razkriti njegove specifikacije, so za potrebe izmenjave podatkov z drugimi aplikacijami razvili zapis DXF (Drawing eXchange Format). Z razvojem DWG formata, ki je postajal vedno kompleksnejši, določeni gradniki niso bili ustrezno dokumentirani v specifikaciji DXF, kar je omejilo uporabnost DXF in so ostali proizvajalci programske opreme za potrebe izmenjave podatkov raje posegali kar po zapisu DWG.

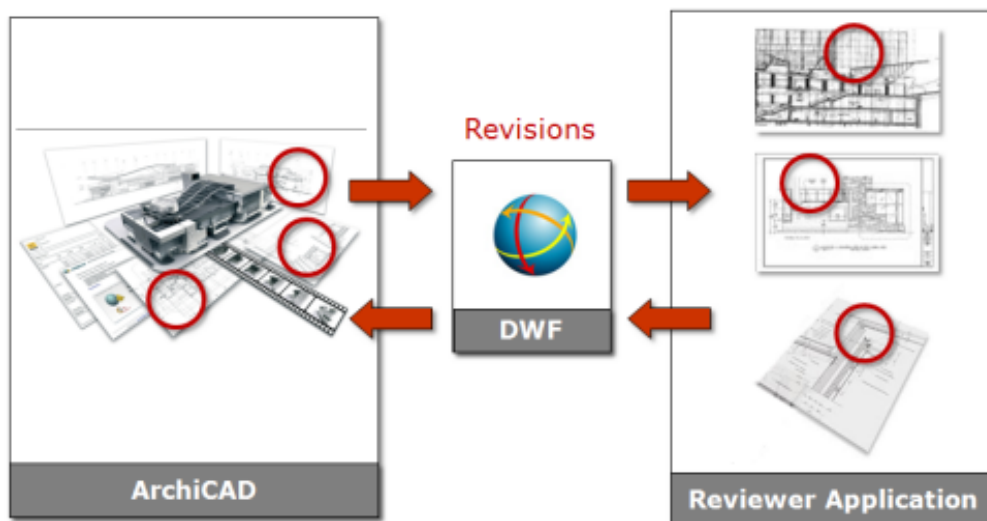
Potrebno se je zavedati, da zasnova DWG in DXF zapisa omogoča shranjevanje risb, primarno 2D risb, izdelanih s CAD programi in ne omogoča shranjevanje vseh ostalih podatkov, ki jih ustvarimo v BIM modelirnikih. Tako DWG format ne zadostuje za izmenjavo BIM modelov.

### **DWF**

Zapis DWF (Design Web Format) (Autodesk n.d.) je namenjen izmenjavi risb, tako 2D kot 3D, tudi med tistimi udeleženci v procesu, ki nimajo ustreznih modelirnikov ali CAD orodij.

Specifikacijo za zapis je razvilo podjetje Autodesk in jo objavilo kot odprto, prosto dostopno specifikacijo, kar pomeni, da zapis lahko uporablja kdorkoli brez plačila nadomestila Autodesku. Autodesk zagotavlja tudi podporo razvoju aplikacij, ki bi uporabljale zapis DWF. Obstaja veliko programov, ki omogočajo ogled in delo z DWF dokumenti.

Zapis in orodja, ki omogočajo delo s tem zapisom, so namenjena izmenjavi, branju, odčitavanju dimenzij, revidiranju, označevanju ter komentiranju (glej sliko 11) 2D risb in 3D modelov in povezovanju le-teh z drugimi dokumenti (slike, specifikacije).



Slika 12: Pregled risb z uporabo DWF zapisa (Graphisoft 2012).

V formatu DWF so podatki stisnjeni, tako dosežemo kar se da majhno velikost datotek. To omogoča učinkovito izmenjavo podatkov preko računalniških omrežij.

## Vprašanja

1. Opišite značilnosti partnerjev gradbenega projekta in način povezovanja med partnerji.
2. Kaj pomeni, da so dokumenti, ki se uporabljajo v projektu, nestrukturirani?
3. Kaj prikazujejo otoki avtomatizacije?
4. Kje se koncept BIM pojavi najprej?
5. Opišite osnovne predpostavke brez katerih ni dobrega sodelovanja.
6. Opišite namen in zmožnosti standarda IFC.
7. Kaj je to Buiding SMART?
8. Opišite namen in način uporabe referenčnega modela.
9. Kaj omogočajo orodja za verzioniranje?
10. Kaj nam omogoča standard XML v zvezi z BIM?
11. Opišite namen in način uporabe formata PDF v gradbeni stroki.
12. Kakšne so razlike med formati DWG, DWF in DXF?



### 13. Kazalo

Sodelovanje med partnerji v gradbenem projektu .....	1
Informacijski modeli objektov .....	1
Sodelovanje .....	3
Sodelovanje med zunanjimi partnerji zasnovano na BIM .....	4
Izmenjava podatkov o modelu .....	5
IFC .....	6
Referenčni model in primerjava modelov .....	8
XML .....	12
Izmenjava dokumentov v obliki PDF .....	14
Izmenjava risb .....	15
DWG in DXF .....	15
DWF .....	16



## Kazalo slik

Slika 1: Otoki avtomatizacije (Hannus et al. 1997).....	2
Slika 2: Udeleženci gradbenega projekta, ki sodelujejo na osnovi BIM (Graphisoft 2012).....	5
Slika 3: Dvosmerne povezave med BIM in aplikacijami z uporabo IFC (Graphisoft 2012).....	6
Slika 4: IFC izmenjava podatkov med arhitektom in konstrukterjem (Graphisoft 2012).....	7
Slika 5: Različno strukturiranje istega elementa za potrebe posameznih strok (Graphisoft 2012). .....	8
Slika 6: Filtriranje modela pred izvozom iz modelirnika (Graphisoft 2012). .....	9
Slika 7: Izmenjava referenčnih modelov z IFC (Graphisoft 2012).....	10
Slika 8: Delitev elementov z uporabo plasti in vizualno razločevanje (Graphisoft 2012). .....	11
Slika 9: Verzioniranje modelov (Graphisoft 2012).....	12
Slika 10: BIM modelirnik in uvoz ter izvoz PDF dokumentov .....	14
Slika 11: Primer pregledovanja 3D modela vključenega v PDF (Graphisoft 2012).....	15
Slika 12: Pregled risb z uporabo DWF zapisa (Graphisoft 2012). .....	16



## Literatura

Adobe, PDF Reference and Adobe Extensions to the PDF Specification | Adobe Developer Connection.

Anon, Green Building XML Schema.

Autodesk, Autodesk Design Review.

Autodesk, Autodesk DWG.

BuildingSmart, Model - Industry Foundation Classes (IFC) — buildingSMART.

Coleman, B.D. & Levine, S., 2008. *Collaboration 2.0*,

Graphisoft, 2012. BIM Curriculum Lecture Notes: BIM Lecture 4 - External Collaboration.

Hannus, M., Penttilä, H. & Silén, P., 1997. Islands of Automation in Construction.

ISO, 1994. ISO 10303:1994 - Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange.

W3C, Extensible Markup Language (XML).



## Računalniška vizualizacija

Eksaktni in formalni opis v splošnem zagotavlja enoumno interpretacijo zapisanega. Človeku takšen način opisovanja stvari in okolja ni naraven in samoumeven. Znano je tudi, da osebe, ki niso večšče branja eksaktnih in formalnih zapisov zelo težko ali pa celo ne zmorejo ustvariti ustrezne slike, da bi lahko razumeli sporočilo ali vsebino. Vizualizacija je eden izmed načinov, da se formalno in eksaktno zapisane in opisane stvari, v našem primeru gradbene objekte, predstavi na način, ki je človeku naraven in ga razume. Vizualizacija se lahko izvede na več načinov, in sicer v obliki izdelave makete, 3D tiska, računalniške vizualizacije itd. V tem poglavju se bomo osredotočili izključno na računalniško vizualizacijo, zato bo v nadaljevanju uporabljali kar izraz vizualizacija.

Vizualizacija je postopek, kjer se informacijski model objekta (BIM) s pomočjo ustreznih transformacij predstavi na bolj realističen lahko pa tudi na fotorealističen način. Tovrstna predstavitev gradbenega objekta je koristna v mnogih primerih, kot so:

1. podrobnejši pregled posameznih delov objekta v 3D pogledu,
2. pogled iz poljubne perspektive,
3. virtualni sprehod skozi objekt,
4. prikaz vpliva sončne svetlobe in(al) svetil na osvetljenost objekta,
5. iskanje ustrezne razporeditve notranjosti objekta,
6. itd.

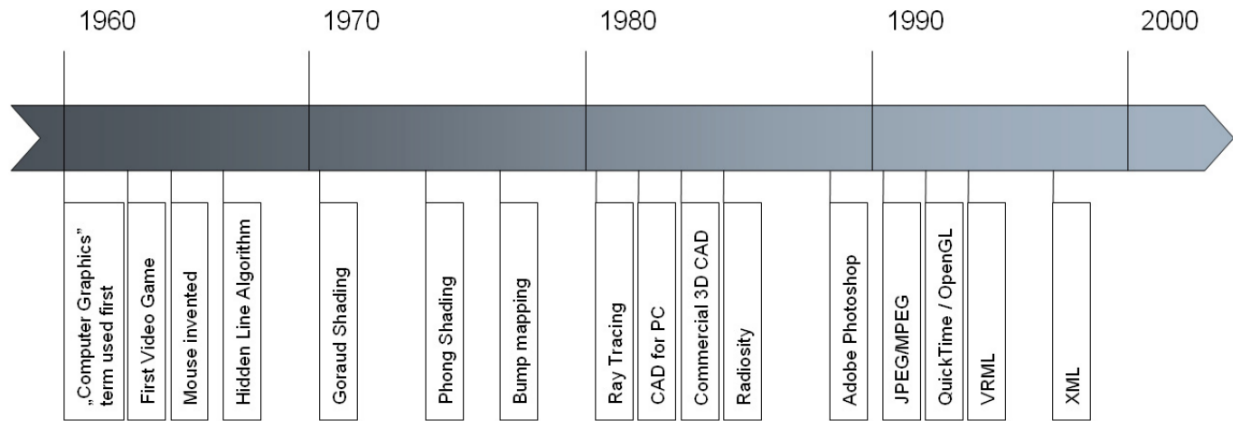
Vizualizacija gradbenih objektov je dandanes pogosto uporabljen način za predstavitev objekta v fazi načrtovanja.

## Zgodovinski pregled

Začetki računalniške vizualizacije segajo v zgodnja šestdeseta leta prejšnjega stoletja. Povezovanje različnih strokovnjakov, kot so matematiki, programerji in ostali izumitelji, je povzročilo temeljne premika na področju računalniške grafike, ki je osnova vizualnemu predstavljanju z računalnikom. Ključni mejniki v razvoju računalniške grafike se sovpadajo tudi z mejniki na drugih področjih kot so: računalniški prikazovalniki, oprema za vnos podatkov, algoritmi za stiskanje slik itd. V kasnejših obdobjih razvoja računalniške grafike je moč opaziti še bolj tesno povezanost ostalih področjih, ki so skupaj dosegala precejšnje skoke v napredku in podobno se dogaja še danes na področju pametnih telefonov in tabličnih računalnikov. Grafični prikaz razvoja računalniške grafike in vizualizacije prikazuje slika 1. V zadnjem desetletju so glavno iniciativo razvoja vizualizacije prevzela avtomobilska in filmska industrija, medtem ko so ostale, med drugim tudi gradbena industrija, največkrat le koristnice tega razvoja.







Slika 1: Zgodovinski pregled razvoja računalniške grafike in vizualizacije (Graphisoft, 2012).

## Vizualizacijske tehnike

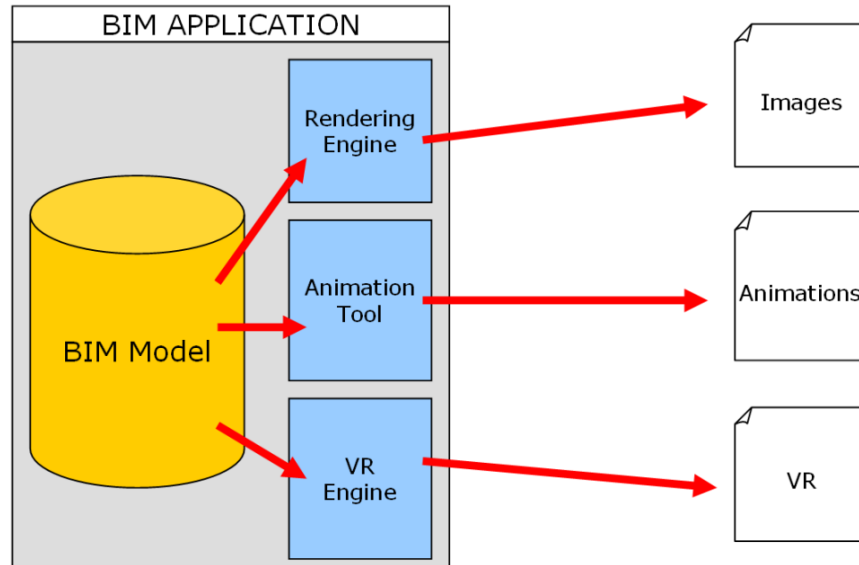
Kot vidimo na sliki 1 je razvoj sprva računalniške grafike in nato vizualizacije potekal postopoma skupaj z razvojem ostalih tehnologij. Na tej poti razvoja so se pojavljale različne potrebe po vizualizaciji in tako je nastala velika množica najrazličnejših tehnik za vizualizacijo, ko omogočajo izdelavo:

1. fotorealističnih slik,
2. umetniških (artističnih) slik,
3. animirane potovanj skozi objekte,
4. osvetlitve sonca,
5. navidezne resničnosti,
6. itd.

## Programska oprema

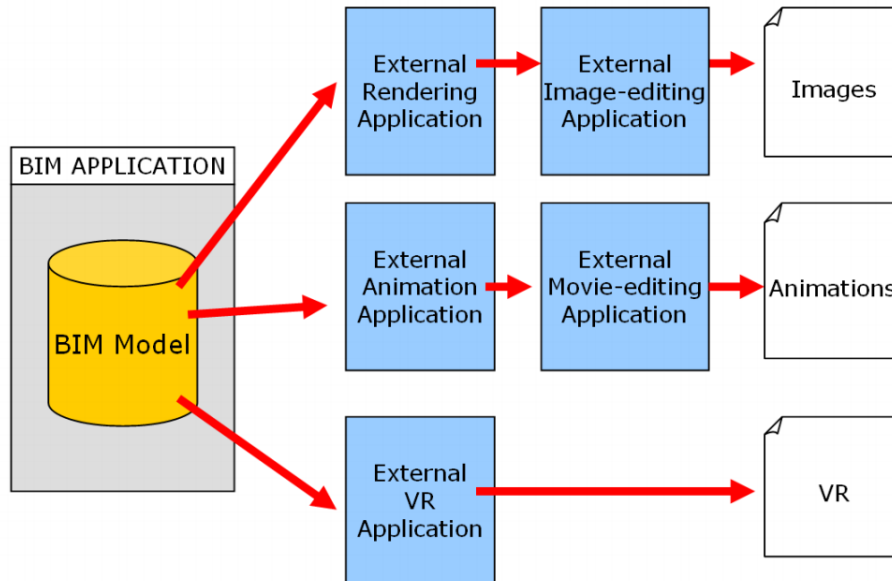
Orodje za vizualizacije je lahko sestavni del modelirnika (npr. SketchUp) ali pa kot samostojna aplikacija (npr. Artlantis). Navadno so orodja za vizualizacijo, ki so že vsebovana v modelirniku primernejša za manj zahtevne vizualizacijske postopke, saj so manj prilagodljiva, vsebujejo manjši nabor gradnikov, tekstur, vizualnih učinkov, materialov in nenazadnje vgrajene imajo tudi manj specializirane algoritme za grafično obdelavo. Zaradi naštetih omejitev tovrstna orodja omogočajo le fotorealistične slike. Njihova ključna prednost je enostavna povezljivost, saj informacijskega modela objekta ni potrebno prenašati med modelirnikom in aplikacijo za vizualizacijo. Podobno je s povezovanjem ostalih atributov za opis lastnosti modela kot so materiali, texture, postavitev luči itd., saj se lahko mnogo teh lastnosti sočasno določi že v fazi modeliranja (ne vse). Pomembno dejstvo je tudi, da se za izdelavo vizualizacije ni potrebno priučiti nove aplikacije, ampak je vse potrebne lastnosti in attribute mogoče določiti v okolju, ki ga uporabnik že pozna. Slika 2 shematsko prikazuje sklopljenost modelirnika in orodja za vizualizacijo.





Slika 2: Shematski prikaz sklopljenosti modelirnika in orodja za vizualizacijo (Graphisoft, 2012).

Za izdelavo bolj kompleksnih vizualnih učinkov pa je potrebno uporabiti orodja, ki so specializirana in imajo zadosten nabor dodatkov (tj. texture, materiali, svetila itd.). Običajno so to samostojne aplikacije. Tovrstne aplikacije uporabniku zagotavljajo bistveno večjo svobodo pri ustvarjanju in omogočajo različne tehnike vizualiziranja (npr. animacije, umetniške slike itd.). Na sliki 3 je shematsko prikazana sklopljenost modelirnika in aplikacije za vizualizacijo, kjer je digitalni model ločen od aplikacije. Prenos digitalnega modela iz modelirnika v aplikacijo za vizualizacijo lahko poteka na različne načine (glej poglavji [Sodelovanje med partnerji v gradbenem projektu](#) in [Sodelovanje znotraj projektne pisarne](#)). Dandanes se v glavnem za prenos modela uporablja princip izvoza modela iz modelirnika in nato uvoza modela v aplikacijo za vizualizacijo. Pri tem je mogoče uporabiti različne zapise modela, kot so: IFC, STEP, obj, 3ds, dwg itd.



Slika 3: Shematski prikaz ločenih aplikacij kot sta modelirnik in aplikacija za vizualizacijo (Graphisoft, 2012).

## Postopek izdelave vizualizacije

Neodvisno od tehnike vizualizacije ali vrste orodja (sestavni del modelirnika ali samostojna aplikacija) je postopek priprave vizualizacije sestavljen iz treh osnovnih korakov, in sicer:

1. modeliranje,
2. postavljanje scene in
3. prikazovanje.

### Modeliranje

V prvem koraku je potrebno pripraviti informacijski model objekta, ki ga želimo vizualizirati. Sama faza informacijskega modeliranja od uporabnika zahteva, da sproti določa: 1.) posamezne tipe elementov (npr. plošča, streha, steber, stopnice itd.), 2.) lastnosti elementov (npr. material, sestavo itd.) in 3.) relacije med elementi. Za uspešno izvedbo vizualizacije informacijskega modela objekta je pomembno, da je le-ta izdelan po principu informacijskega modeliranja objektov (glej zapiske predavanj pri predmetu [Digitalno modeliranje](#)).

### Določanje scene

Kot smo že omenili je lahko orodje za vizualizacijo sestavni del modelirnika ali pa uporabimo samostojno aplikacijo. V primeru slednjega je potrebno opraviti še prenos podatkov iz modelirnika v aplikacijo za vizualizacijo. Model objekta je nato potrebno postaviti v ustrezni kontekst, kar pomeni dosleden fizikalni opis svetlobnih učinkov kot so: svetlobni odboji, tekstura, izvori svetlobe, lokacije kamer itd. Možno je še dodati elemente, ki sicer niso del gradbenega objekta, ampak imajo predvsem estetski učinek (npr. drevesa, zelenica, avtomobili itd.).



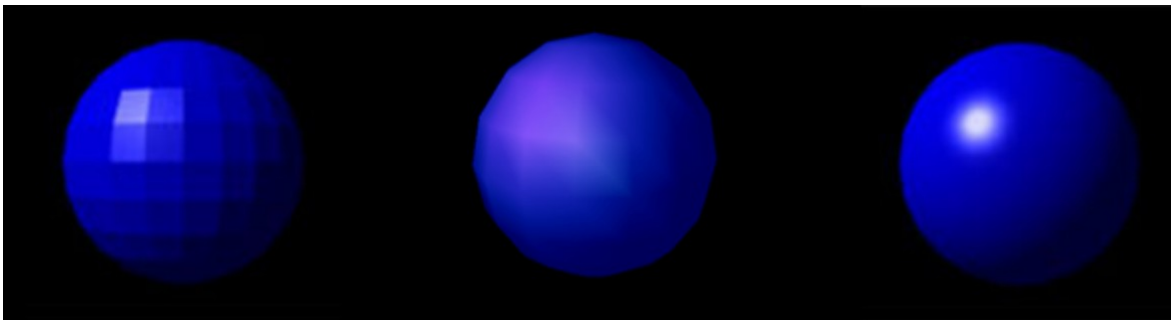
Za realistično upodobitev modela gradbenega objekta je potrebno določiti naslednje fizikalne opise:

1. senčenja,
2. svetlobne vire,
3. metanje senc,
4. teksture,
5. materiale in
6. nastavitve kamer.

Iz naštetih fizikalnih opisov je s pomočjo ustreznega osvetlitvenega modela mogoče izračunati ustrezne osvetljenosti točk na ploskvah. Osvetlitveni model včasih imenujemo tudi model senčenja.

### Senčenje

Eden od pomembnih postopkov za fotorealistično upodobitev je senčenje, ki omogoča izračun osvetljenosti točke na površini objekta glede na položaj kamere, svetlobni izvor, geometrijo in površino ploskve. Najbolj preprosti način senčenja je izračun konstantne intenzitete na ploskvi, ki jih določa poligonalna mreža (slika 4 levo). Osvetljenost posameznih ploskev je odvisna od vpadnega kota svetlobe in položaja kamere. Takšno senčenje ima pomanjkljivost, saj je vsaka ploskev prikazana s svojo intenziteto in tako ima objekt grobi izgled (Guid, 2001). Problem je mogoče ublažiti z večjim številom manjših ploskev, kar poveča računsko zahtevnost. Leta 1971 je bil predlagan Gouraudov algoritem senčenja (slika 4 na sredini), ki temelji na interpolaciji intenzitet sosednjih ploskev. Slabost tega algoritma je, da se na robovih ploskev pojavljajo svetle ali temne lise. Gouraudovo senčenje je leta 1975 izboljšal Phong. Razliko lahko opazimo na sliki slika 4 desno.



Slika 4: Senčenje krogle je določeno s poligonalno mrežo in temelji na izračunu konstantne intenzitete na ploskvah (levo), Gouraudovo senčenje (sredina) in Phongovo senčenje (levo) (Graphisoft, 2012).

### Svetlobni viri

Učinek senčenja je zelo odvisen od svetlobnega vira, ki je lahko točkast, linijski ali ploščinski. Med točkaste izvore prištevamo tiste izvore, pri katerih svetloba izhaja iz ene točke (npr. sijalka). Kot linijski svetlobni izvor si lahko predstavljamo fluorescenčno žarnico, medtem ko ploščinski svetlobni vir predstavljajo svetila z večjo površino. Ploskve, ki si pravokotne na smer padajočo svetlobo, so najbolj osvetljene. Bolj poševno ko pada svetloba na ploskev, manj je osvetljena. Ploskev na katero sončna

svetloba ne pade (vzporedna s smerjo svetlobe) ostane neosvetljena in je zato ne vidimo oz. ostane črna. V izogib temu pojavu se dodatno uporabi ambientna svetloba, ki osvetljuje celoten prostor in zagotavlja, da so vse ploskve enako osvetljene. Primer različno osvetljenih točk na ploskvi je prikazan na sliki 4 (Guid, 2001).

### Metanje senc

Dodatno vrednost realističnemu upodabljanju objektov omogoča tudi metanje senc. Postopek določanja in risanja senc temelji na različnih algoritmih kot so:

1. algoritem sledenja žarku,
2. sence, tvorjene s projekcijo,
3. teksture senc (*ang. shadow mapping*),
4. volumni senc (*ang. shadow volumes*),
5. itd.

### Teksture senc

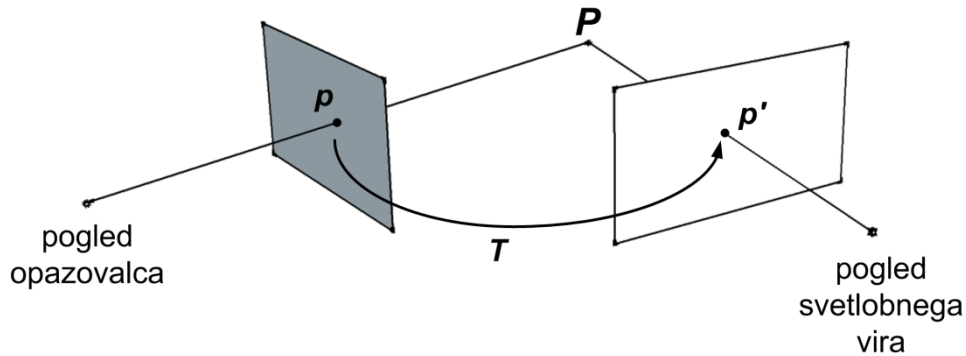
Algoritem teksture senc je leta 1978 predlagal Lance Joseph Williams in deluje tako, da sence riše s pomočjo tekstur (Wikipedija, 2013). Sestavljen je iz dveh korakov:

1. Kamera se postavi v položaj svetlobnega vira in je orientirana v smeri svetlobe, ki pada na objekt. Nastala slika se shrani kot globinska slika, kjer se namesto barvnih vrednosti slikovnih elementov za vsak slikovni element zabeležijo razdalje od svetlobnega izvora.
2. Kamera se postavi nazaj v položaj opazovalca in se s pomočjo globinske slike določijo sence na sliki.

Ključnega pomena je prenos podatkov iz prvega koraka v drugega. Najprej je potrebno definirati matriko, ki omogoča povezavo med pogledom opazovalca in pogledom svetlobnega vira. To matriko imenujemo transformacijska matrika in jo označimo s  $T$ . S pomočjo transformacijske matrike  $T$  in globinske slike je mogoče določiti senčna področja, kot prikazuje slika 6.

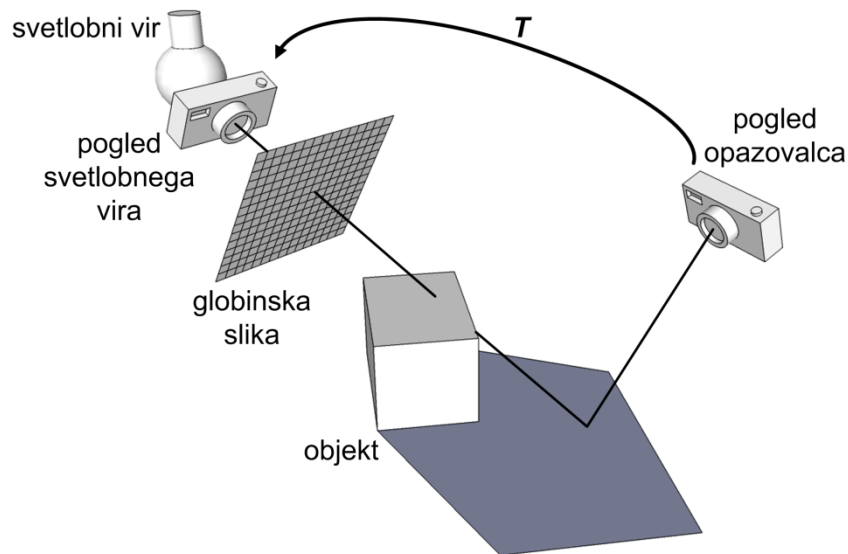
Kaj omogoča transformacijska matrika  $T$ ? Če na sliki opazovalca izbrano točko  $p$  pomnožimo z matriko  $T$ , potem dobimo točko  $p'$  na sliki pogleda svetlobnega vira. Točki  $p$  in  $p'$  predstavljata isto točko  $P$  na opazovanem objektu. To omogoča preslikavo izbrane točke iz pogleda opazovalca v pogled svetlobnega vira, kot prikazuje slika 5.





Slika 5: Preslikava točke  $p$  iz pogleda opazovalca v točko  $p'$  iz pogleda svetlobnega vira. Transformacijo definira matrika  $T$ .

Za izbrano točko  $p$  iz pogleda opazovalca s pomočjo matrike  $T$  poiščemo v globinski sliki svetlobnega vira točko  $p'$  in odčitamo razdaljo med svetlobnim virom in najbližjo točko, ki v sliki stoji na poti svetlobnemu žarku (npr. žarek se ustavi na kocki). Če je globina opazovane točke (npr. točka na tleh za kocko) večja od pripadajoče vrednosti iz globinske slike, potem se točka nahaja v predelu sence, sicer pa ne. Primer izbrane točke v predelu sence prikazuje slika 6.



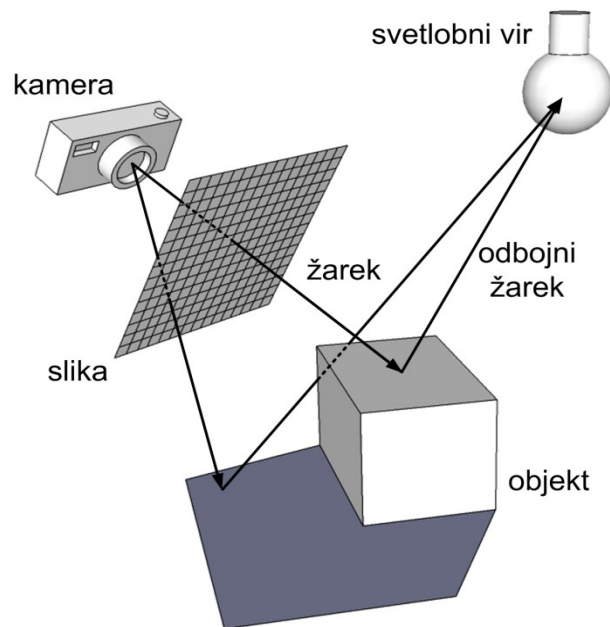
Slika 6: Osnovni princip algoritma teksture senc.

Posamezni koraki algoritma se lahko izvedejo z matričnim računom, ki ga zelo dobro podpira knjižnica OpenGL (OpenGL, n.d.). Uporaba knjižnice OpenGL omogoča izvajanje računskih operacij na strojni opremi grafične kartice, zaradi česar je izvajanje opisane algoritma bistveno hitrejše. Z ustrezno izvedeno implementacijo ga je mogoče uporabiti v realno-časovnih aplikacijah, kot so računalniške igre, simulacije, modeli navidezne resničnosti itd.

### Algoritem sledenja žarku

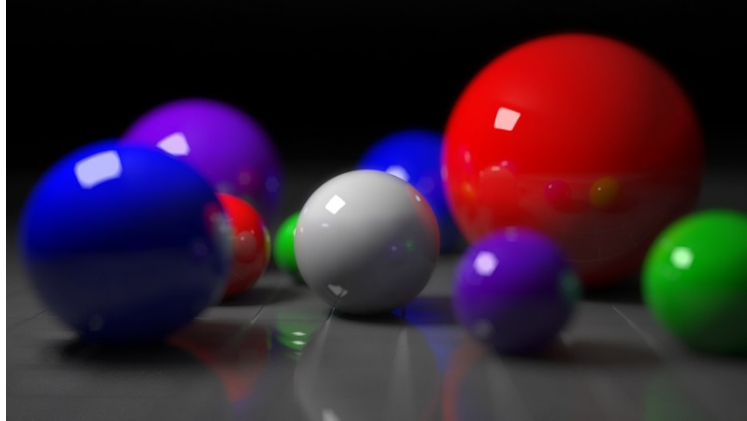
Algoritem sledenja žarku temelji na principu, da žarku sledimo od kamere proti svetlobnemu viru (Guid, 2001). Razlog za takšen pristop je v tem, ker le majhen del žarkov od svetlobnega vira preko odboja objekta pride do opazovalca. Algoritem je prvi predlagal Appel leta 1968. Prva implementacija Kay-Greenbergovega algoritma za metanje senc z uporabo algoritma sledenja žarku je bila predstavljena leta 1979 in še leto kasneje Whittedov algoritem. Osnovi princip delovanj algoritma sledenja žarku prikazuje slika 7. Algoritem je sestavljen iz naslednjih korakov:

1. sledenja žarku od opazovalca skozi izbrani slikovni element na zaslonu,
2. računanja presečišč med žarkom in objektom v sceni,
3. računanja odbojnih in lomnih žarkov ter
4. določanja intenzitete oziroma barve slikovnega elementa, skozi katerega gre žarek.



Slika 7: Osnovni princip algoritma slednja žarku.

Povsem jasno je, če odbojni žarek ne zadene svetlobnega vira, je tisti del slike osenčen (glej odbojni žarek na sliki 7). Prednost Whittedovega algoritma je velika natančnost pri določanju senc in njihovega prikaza vendar je algoritem računsko zelo zahteven. Prav zaradi računske zahtevnosti ni primeren za realno-časovne aplikacije, kot so računalniške igre, modeli navidezne resničnosti, simulacije itd.



Slika 8: Senčenje z uporabo Whittedovega algoritma (LabGrab, 2010).

### *Tekstura in material*

Slika 4 prikazuje primer uporabe zelo preproste teksture, ki je definirana enobarvno. Za razliko od preprostih, kompleksne teksture omogočajo boljše fotorealistično predstavitev objektov. Glede na izvor teksture delimo na:

- fototeksture in
- proceduralne teksture.

Fototeksture so manjše slike, ki prikazujejo površine objektov, snovi, materialov itd. Pri tem je pomembno, da fototeksture nastanejo na osnovi zajemanja slik (npr. fotografiranja) iz naravnega okolja. Povsem drugače pa je pri proceduralnih tekstura, ki so tvorjene s pomočjo algoritmov. Aplikacije za vizualizacijo vsebujejo zraven proceduralnih tekstur tudi velik nabor fototekstur, ki predstavljajo različne materiale. Primeri fototekstur za les, kovina in beton so prikazani na sliki 9.



Slika 9: Primeri fototekstur; les (levo), kovina (sredina) in beton (desno).

### *Nastavitve kamere*

Najpogosteje uporabljeni projekciji sta aksonometrična in perspektivna (glej zapiske predavanj pri predmetu [Digitalno modeliranje](#)), ki sta najbolj podobni projekciji človeškega vidnega sistema in sta zato





tudi najbolj primerni za vizualizacijo. Dodatno še poznamo pravokotno vzporedno projekcijo, ki je primernejša za upodabljanje inženirskih risb, saj se ohranjajo dolžine in kot. Izbira projekcije močno vpliva na podobo vizualiziranega objekta. Zraven tega pa je na vizualni učinek mogoče vplivati tudi s simulacijo različnih leč kamere (optični sistem). Na voljo so različni postopki, ki simulirajo deformacije zaradi različnih leč. Ena takšnih je simulacija širokokotnih leč, kjer se pojavi učinek ribjega očesa (*ang. fish eye effect*), kot je prikazano na sliki 10.



Slika 10: Vizualizacija stavbe s simuliranim širokokotnim pogledom. Ukrivljenost je posledica učinka ribjega očesa (WallPaperMI, n.d.).

### Prikazovanje

Zadnji korak vizualizacije je prikazovanje informacijskega modela objekta, kjer so vključene: 1.) geometrijske lastnosti objekta, 2.) vizualne lastnosti objekta (npr. vrsta materiala, barva, tekstura itd.) in 3.) vizualni učinki (npr. senčenja, metanje senc, svetlobnimi odboji, lomi svetlobe itd.). Končni rezultat je odvisen od uporabljene tehnike za vizualizacijo.

V primeru fotorealistične tehnike je informacijski model objekta prikazan v skladu z izbranimi lastnostmi elementov in scene tako, da se približa izgledu fotografije. Primer fotorealistične vizualizacije prikazujeta sliki 11 in 12, kjer sta upodobljeni zunanost stanovanjske hiše in notranjost sobe s kuhinjo.



Slika 11: Fotorealistična vizualizacija zunanosti hiše in okolice (Berga & González, 2013).



Slika 12: Fotorealistična vizualizacija notranjosti sobe (Berga & González, 2013).



Informacijski model objekta je mogoče vizualizirati tudi z drugimi tehnikami. Pri tem obstajata dva načina izdelave oz. postopka za izdelavo vizualizacije:

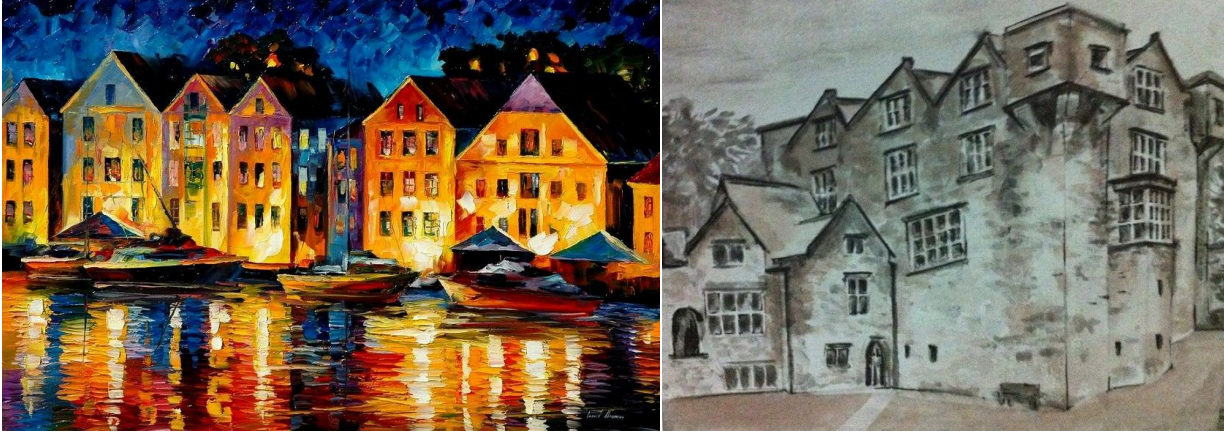
1. neposredna vizualizacija ali
2. posredna vizualizacija.

V prvem primeru se proces vizualizacije, vključno z vsemi nastavitvami in dodatki, izvede neposredno v modelirniku ali v aplikaciji za vizualizacijo, kjer je osnovna podatkovna struktura informacijski model objekta. V drugem primeru pa se za izbrane nastavitve kamere nad informacijskim modelom objekta izvede projekcija, katere rezultat je slike. Pri tem je podoba zgradbe na sliki enaka prikazu modela v modelirniku. Vizualizacija se nato izvede izključno za podobo na sliki s pomočjo programi za urejanje slik, kot so GIMP, Photoshop itd.

V obeh primerih je mogoče uporabiti različne tehnike za vizualizacijo kot so upodabljanje z barvami na vodni osnovi, kemičnim svinčnikom, oljnimi barvami, črnilom itd. Primeri vizualizacij z različnimi tehnikami so prikazani na sliki 13 in 14.



Slika 13: Tehniki upodabljanja z barvami na vodni osnovi (levo) (Miller, n.d.) in tehnika s kemičnim svinčnikom (desno) (Silva, 2012).



Slika 14: Tehniki upodabljanja z oljnimi barvami (levo) (Afremov, n.d.) in črnilom (desno) (Baird, n.d.).

### Možnosti optimizacij pri izdelavi vizualizacije

Postopek za izdelavo vizualizacije informacijskega modela objekt je sestavljen iz treh korakov. V prvem koraku, tj. v fazi modeliranja, se izdelava informacijski model objekta, v drugem koraku, tj. v fazi postavitve scene, pa določijo vse ostale podrobnosti, ki so ključne za vizualne učinke. V zadnjem koraku se izvede prikazovanje izračunanih scen. Računska zahtevnosti in posledično tudi čas računanja je odvisen predvsem od priprave podatkov in izbire različnih parametrov vizualizacije v prvih dveh korakih. Tako je pri pripravi podatkov smiselno optimalno določiti naslednje:

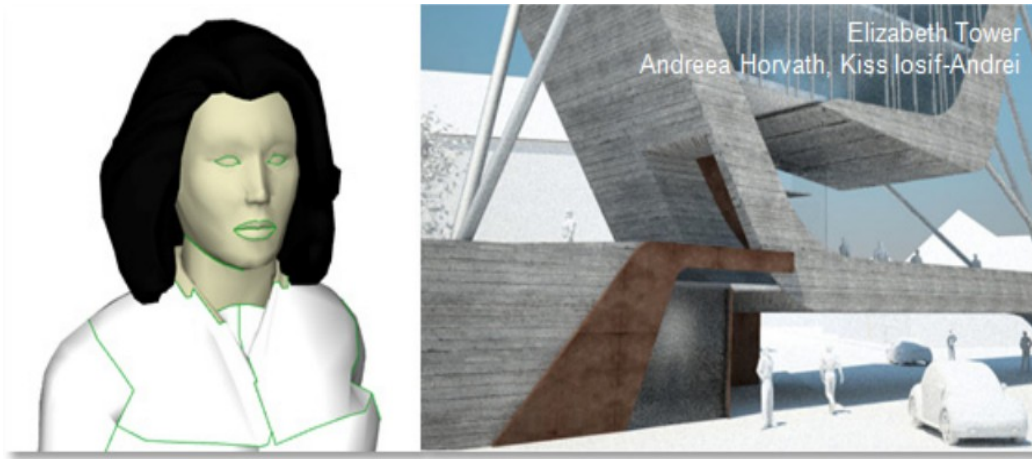
1. kompleksnost informacijskega modela objekta,
2. kompleksnost scene,
3. vzorčenje,
4. kvantizacija in
5. število slik na sekundo v primeru izdelave animacije.

### Kompleksnost geometrijskega modela

Geometrijski zapis informacijskega modela objekta je odvisen od geometrijske predstavitve, ki je določena z modelirnikom. Najpogostejše geometrijske predstavitve so:

- predstavitev s poligonalnimi mrežami,
- predstavitev z ovojnico (*ang. boundary representation – B-rep ali BREP*) in
- metoda temeljnih gradnikov (*ang. constructive solid geometry – SCG*).

Od števila poligonov oz. temeljnih gradnikov in njihovih transformacij je zelo odvisna kvaliteta vizualizacije. Torej, če je število le-teh majhno, potem je tudi izgled geometrijskega telesa slabši, a je zato računski zahtevnost takšne vizualizacije bistveno manjša. Primere vizualizacije za različno število polinomov prikazuje slika 15.



Slika 15: Vpliv različnega števila poligonov geometrijskega objekta na vizualizacijo (Graphisoft, 2012).

### Kompleksnost scene

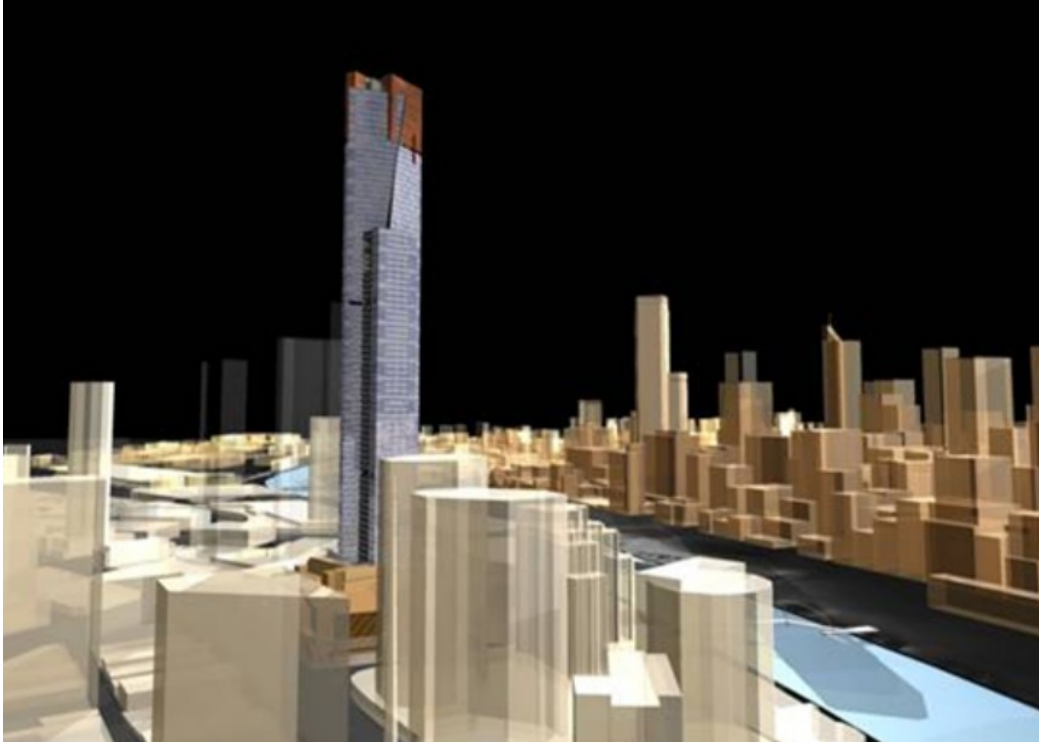
Uspešnost vizualizacije informacijskega modela objekta je odvisna od scene, ki določa vizualne učinke in postavlja predstavljeni objekt v širši konteksta uporabe. Pri tem se pojavita kompleksnost informacijskega modela objekta in kompleksnost scene v katero je objekt postavljen (npr. materiali, teksture, položaji kamer itd.). Za optimalno izdelavo vizualizacije je potrebno določiti ustrezno kompleksnosti, kar je definirano s stopnjo podrobnosti (*ang. level of detail - LoD*). Pri današnjih postopkih vizualizacije se stopnja podrobnosti lahko določa tudi na nivoju posameznega geometrijskega elementa. Določanje stopnje podrobnosti lahko prepustimo tudi aplikaciji, kar pomeni da bodo objekti, ki so bližje opazovalcu (kameri), predstavljeni z večjo stopnjo podrobnosti in obratno za bolj oddaljene. Takšen primer prikazuje slika 16, kjer so objekti blizu opazovalca prikazani zelo natančno (npr. roža v levem spodnjem kotu), medtem ko pa so bolj oddaljeni objekti predstavljeni v manjšo stopnjo podrobnosti (npr. drevesa v ozadju).



Drugačen primer določanja stopnje podrobnosti pa je prikazan na sliki 17, kjer je namen vizualizacije prikaz umestitve novega objekta v urbani prostor. V tem primeru so podrobnosti okolice manj pomembne, zato so predstavljene z manjšo stopnjo podrobnosti. Nekoliko večja stopnja podrobnosti pa je uporabljena za objekti, katerega umestitev v prostor želimo vizualno predstaviti.



Slika 16: Prikaz objektov z različno stopnjo podrobnosti (Ameri-CAD, 2011).



Slika 17: Prikaz objektov z različno stopnjo podrobnosti (Katsalidis, 2007).

### Vzorčenje

Podatki informacijskega modela objekta so zapisani v vektorski obliki, kar pomeni, da so oblike in podobe opisane z matematičnimi funkcijami. Omenili smo že, da je rezultat vizualizacije lahko slika ali animacija ali pa model navidezne resničnosti. Vsak od teh načinov vizualizirano vsebino, tj. informacijski model objekta, obdeluje in prikazuje v rastrskem načinu. Zaradi tega je potrebno izvesti pretvorbo iz vektorskega načina v rastrski. Postopek se imenuje vzorčenje. Pri tem je potrebno določiti gostoto, kar pomeni število slikovnih elementov na palec (*ang. pixel per inch - PPI*). Enota PPI definira relacijo med velikostjo slike izraženo v enotah slikovnih elementov in velikostjo slike izraženo v dolžinskih enotah. Relacijo podaja enačba:

$$\begin{bmatrix} v \\ \check{s} \end{bmatrix} = PPI \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \quad (1)$$

kjer oznaki  $v$  in  $\check{s}$  predstavljata višino in širino slike v enotah slikovnih elementov,  $PPI$  je oznaka za številko slikovnih elementov na palec, oznaki  $x$  in  $y$  pa sta dolžni v palcih. Zgornjo enačbo lahko zapišemo v bolj kompakten matrični račun, in sicer kot:

$$S = PPI \cdot D, \quad (2)$$

kjer matrika  $S$  opisuje velikost slike v enotah slikovnih elementov in matrika  $D$  velikost in dolžinskih enotah palec. Enačba 2 omogoča določitev optimalnega števila slikovnih elementov vizualizacije glede na kontekst uporabe.



## Kvantizacija

Postopek kvantizacije se sovпада s postopkom vzorčenja, saj je potrebno vzorcem, tj. slikovnih elementom, določiti diskretne vrednosti. Vrednost posameznega slikovnega elementa se določi v odvisnosti od:

1. vsebine tistega dela vektorske slike, ki ga posamezni slikovni element pokriva in
2. izbranega barvnega modela (RGB, HSV, HSL, CIA itd.).

Vzorčenje in kvantizacija digitalizirata oz. preslikata vektorski prostora v rastrskega. Pri tem je rastrski prostor omejen s končnim številom slikovnih elementov in diskretnih vrednosti, ki jih ti slikovnih elementov zavzamejo glede na izbiro barvnega modela.

## Frekvenca slik

Pri izdelavi animacije je zraven vzorčenja in kvantizacije potrebno določiti še število prikazanih slik na sekundo (*ang. frame per second - FPS*). Prvotno so animirani filmi bili sestavljeni s 18 slikami na sekundo, trenutne veljavni standard pa določa 24 slik na sekundo za opazovanje in prikazovanje običajnih pojavov (risanke, filmi itd.). Izbira števila slik na sekundo je odvisna predvsem od dogajanja, ki ga animacija prikazuje. Če animacija prikazuje hitre (vizualne) spremembe, je potrebno izbrati nekoliko večje število slik na sekundo in obratno pri animacijah s prikazom manjših vizualnih sprememb.





## Vprašanja

1. Kaj je vizualizacija in zakaj je koristna?
2. Opišite razvoj računalniške grafike in vizualizacije.
3. Naštejte osnovne vizualizacijske tehnike.
4. Opišite načine sklopljenosti modelirnika in aplikacije za vizualizacijo. Naštejte prednosti in omejitve.
5. Naštejte in opišite postopek izdelave vizualizacije.
6. Kaj predstavlja scena v kontekstu vizualizacije in kako jo določimo in opišemo.
7. Kaj je senčenje in čem je namenjeno?
8. Opišite osnovne algoritme za senčenje.
9. Kakšne svetlobne vire poznamo in zakaj jih uporabljamo?
10. Naštejte algoritme za metanje senc.
11. Opišite algoritem teksture senc.
12. Opišite algoritem sledenja žarku.
13. Kakšne vrste tekstur poznamo. Opišite jih.
14. Opišite nastavitve kamere.
15. Opišite postopek prikazovanja.
16. Kako je mogoče optimizirati izdelavo vizualizacije?
17. Kako kompleksnost modela vpliva na izdelavo vizualizacije?
18. Kako kompleksnost scene vpliva na izdelavo vizualizacije?
19. Kaj je vzorčenje in čemu služi?
20. Kakšen vpliv ima kvantizacija pri izdelavi vizualizacije?
21. Zakaj je pomembna smiselno določiti frekvenco slik?



## Kazalo

Računalniška vizualizacija .....	1
Zgodovinski pregled .....	1
Vizualizacijske tehnike .....	2
Programska oprema.....	2
Postopek izdelave vizualizacije .....	4
Modeliranje.....	4
Določanje scene .....	4
Prikazovanje .....	10
Možnosti optimizacij pri izdelavi vizualizacije.....	13
Kompleksnost geometrijskega modela.....	13
Kompleksnost scene .....	14
Vzorčenje .....	16
Kvantizacija .....	17
Frekvenca slik.....	17



## Kazalo slik

Zgodovinski pregled razvoja računalniške grafike in vizualizacije (Graphisoft, 2012).....	2
Shematski prikaz sklopljenosti modelirnika in orodja za vizualizacijo (Graphisoft, 2012). ....	3
Shematski prikaz ločenih aplikacij kot sta modelirnik in aplikacija za vizualizacijo (Graphisoft, 2012).....	4
Senčenje krogle je določeno s poligonalno mrežo in temelji na izračunu konstantne intenzitete na ploskvah (levo), Gouraudovo senčenje (sredina) in <i>Phongovo</i> senčenje (levo) (Graphisoft, 2012).....	5
Preslikava točke $p$ iz pogleda opazovalca v točko $p'$ iz pogleda svetlobnega vira. Transformacijo definira matrika $T$ . ....	7
Osnovni princip algoritma teksture senc. ....	7
Osnovni princip algoritma slednja žarku.....	8
Senčenje z uporabo Whittedovega algoritma (LabGrab, 2010). ....	9
Primeri fototekstur; les (levo), kovina (sredina) in beton (desno).....	9
Vizualizacija stavbe s simuliranim širokokotnim pogledom. Ukrivljenost je posledica učinka ribjega očesa (WallPaperMI, n.d.).....	10
Fotorealistična vizualizacija zunanosti hiše in okolice (Berga & González, 2013). ....	11
Fotorealistična vizualizacija notranjosti sobe (Berga & González, 2013). ....	11
Tehniki upodabljanja z barvami na vodni osnovi (levo) (Miller, n.d.) in tehnika s kemičnim svinčnikom (desno) (Silva, 2012).....	12
Tehniki upodabljanja z oljnimi barvami (levo) (Afremov, n.d.) in črnilom (desno) (Baird, n.d.). ....	13
Vpliv različnega števila poligonov geometrijskega objekta na vizualizacijo (Graphisoft, 2012).....	14
Prikaz objektov z različno stopnjo podrobnosti (Ameri-CAD, 2011).....	15
Prikaz objektov z različno stopnjo podrobnosti (Katsalidis, 2007). ....	16



## Literatura

- Afremov, L. (n.d.). Night Resting Original Oil Painting. <http://fineartamerica.com/featured/night-resting-original-oil-painting-leonid-afremov.html>.
- Ameri-CAD. (2011). Ameri-CAD: The language of building. <http://www.visionrez.com/flash/commercial#/home/>.
- Baird, S. (n.d.). Castle - Ink Painting. <http://scottbaird.deviantart.com/art/Castle-Ink-Painting-261241993>.
- Berga, & González. (2013). Berga&González architects. <http://renderingofarchitecture.com/>.
- Graphisoft. (2012). BIM Curriculum Lecture Notes: BIM Lecture 3 - Computer vizualizazion.
- Guid, N. (2001). *Računalniška grafika*. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko and računalništvo in informatiko.
- Katsalidis, F. (2007). Eureka Tower. <http://pc.blogspot.com/2007/06/eureka-tower-fender-katsalidis.html>.
- Miller, A. (n.d.). Caribbean Images. <http://www.nicholsonyachts.com/miller/index.htm>.
- OpenGL. (n.d.). The Industry's Foundation for High Performance Graphics. <http://www.opengl.org/>.
- Silva, S. (2012). Masterful Ballpoint Pen Drawings. <http://www.stumbleupon.com/su/1JfGOH/whodesignedit.net/design/masterful-ballpoint-pen-drawings-samuel-silva-vianaarts>.
- WallPaperMI. (n.d.). Cityscapes hdr photography fisheye effect 1680x1050 wallpaper. [http://wallpapermi.com/Art\\_Design/Photography/cityscapes\\_hdr\\_photography\\_fisheye\\_effect\\_1680x1050\\_wallpaper\\_32154](http://wallpapermi.com/Art_Design/Photography/cityscapes_hdr_photography_fisheye_effect_1680x1050_wallpaper_32154).
- Wikipedija. (2013). Shadow mapping. [http://en.wikipedia.org/wiki/Shadow\\_mapping](http://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_mapping).



## Gradbena dokumentacija

Proces gradnja objektov in kasneje njihova uporaba poteka skozi več zaporednih faz. V splošnem lahko rečemo, da se proces gradnje prične z zgodnjim načrtovanjem (*ang. early design*), kjer se določijo osnovne vizualne in funkcionalne lastnosti objekta. Zgodnjo fazo načrtovanja običajno izvajajo arhitekti. Nato sledi faza podrobnega načrtovanja, ki zajema številne določitve in umestitve vseh potrebnih gradbenih elementov. Po obeh fazah načrtovanja in ustrezno pridobljenih gradbenih dovoljenjih se lahko prične gradnja objekta. Po zaključku gradnje in opravljeni primopredaji se prične faza obratovanja in vzdrževanja objekta, ki traja vse do porušitve. Celoten življenjski cikel objekta simbolično prikazuje slika 1.



Slika 1: Življenjski cikel gradbenega objekta (Compact epc+ 2013).

Zraven grafične dokumentacije obstaja tudi cela vrsta ostale dokumentacije v pisni obliki, npr. opisne lastnosti posameznih delov stavbe, statični izračuni, poročila analize toplotne učinkovitosti, analiza materialnih in človeških virov, ocene stroškov in popisi količin, varnostne zahteve itd. V luči trajnostnega razvoja in zmanjševanja obratovalnih stroškov v fazi uporabe stavbe se postavljajo v ospredje številne analize, ki podajajo učinkovitost stavbe iz različnih vidikov (npr. energetske, estetske itd.). Mnogokrat se zgodi, da so nekatere želje in zahteve naročnika izključujoče in je med njimi potrebno poiskati optimalno rešitev, kar zahteva sodelovanje strokovnjakov iz različnih področij.

## Obseg gradbene dokumentacije

Zaradi velikega števila udeležencev v gradbenem projektu (arhitekti, projektanti itd.), različnih vidikov na gradbeni objekt (estetika, funkcionalnost, fizikalne lastnosti stavbe, energetska učinkovitost itd.) in številnih faz v življenjskem ciklu gradbenega objekta (zgodnje načrtovanje, podrobno načrtovanje itd.) je

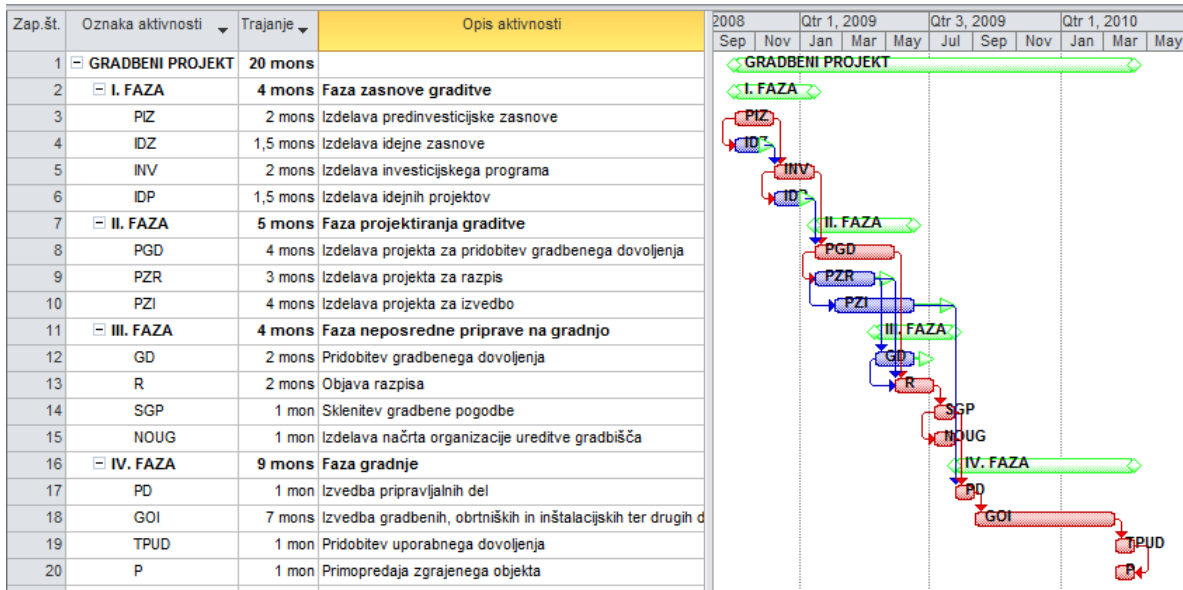


nujno, da so informacije o objektu ustrezno dokumentirane. Tako naročnik na osnovi konceptualnih shem, skic in načrtov, ki so rezultat načrtovanja v zgodnji fazi, sprejema prve odločitve o izvedbi projekta. V tej fazi arhitekt kreira strukturo novega objekta v estetskem in funkcionalnem smislu. Ključnega pomena v tej fazi je ustrezna artikulacija naročnikovih želja in razumevanje le-teh s strani arhitekta, čigar naloga je, da v maksimalni meri poskrbi za usklajenost naročnikovih želja ob upoštevanju ključnih kriterijev in zahtev o graditvi objektov, kot so:

1. uporabnost prostorov,
2. zunanja podoba objekta,
3. notranja organiziranost in
4. izgled objekta ter skladanje z okolico.

V nadaljevanju je gradbeni inženir zadolžen za oblikovanje rešitev in izbiro konstrukcijskih elementov ter temeljenje. Zgradba potrebuje zasnovo strojnih inštalacij, kot so prezračevanje, ogrevanje, hlajenje, vodovod, električne inštalacije itd. Zahtevnejše stavbe (npr. letališča, bolnišnice, zdravstveni domovi, laboratoriji itd.) potrebujejo tudi dvigala in druge specializirane sisteme za delovanje. Pomemben segment pri gradnji objekta je tudi ureditev okolice, kamor sodijo dovozne, dostavne in intervencijske poti. Iz kratkega pregleda procesa načrtovanja in opisa nekaterih deležnikov (*ang. stakeholders*) v projektu je moč razbrati, da je načrtovanje proces, pri čemer dokumentacija nastaja postopno skozi več iteracijah. Rezultati in izdelki tega procesa morajo biti ustrezno dokumentirani, saj je le tako mogoče zagotoviti, da bi lahko v fazi grajenja objekt tudi zgradili tako kot je bilo zamišljeno. Načrtovalske odločitve morajo biti strokovno utemeljene, zanesljive in tehnično pravilne, dokumentacija pa mora te zahteve tudi odražati. Za potrebe organizacije gradnje in izvedbo ima dokumentacija velik pomen z vidika pridobivanja dovoljenj, planiranje, nadzor gradnje ter izvedbo tehničnih rešitev, vzdrževanja objekta in na koncu tudi porušitve. Časovni potek potrebne in zahtevane dokumentacije po različnih fazah v življenjskem ciklu gradbenega projekta prikazuje slika 2.



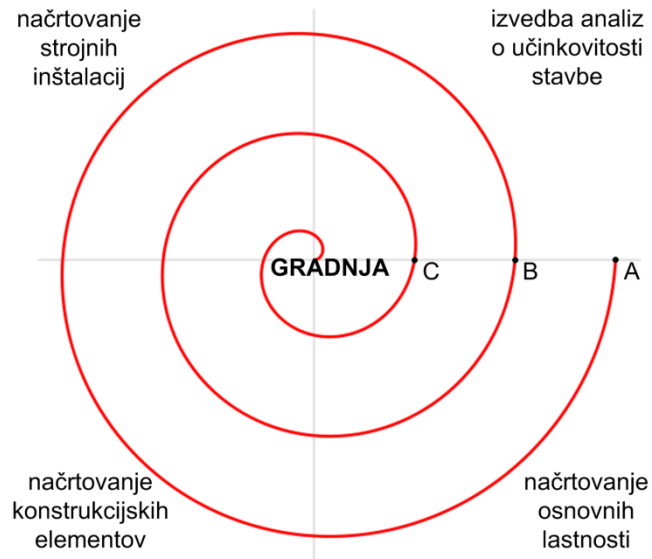


Slika 2: Časovno zaporedje gradbene dokumentacije v življenjskem ciklu gradbenega objekta (Pšunder et al. 2012).

Od vrste in velikosti projekta sta običajno odvisna obseg in vsebina dokumentacije (Pšunder et al. 2012). Gradbena mapa vsebuje vso potrebno dokumentacijo o posameznem objektu, ki lahko vsebuje grafične ali ne grafične elemente. Zakonski predpisi zelo natančno določajo grafični del dokumentacije in izhajajo iz dolge tradicije grajenja. Tako večino grafičnih prikazov predstavljajo dvodimenzionalne risbe, ki vključujejo tlorise, karakteristične prereze, poglede na fasade, vertikalne prereze notranjosti ter karakteristične detajle v povečanem merilu. V procesu grajenja neposredno na gradbišču so pomembni tudi tehnični in konstrukcijski detajli, ki so opisani v načrtih za temeljenje, konstrukcijskih načrtih strehe, armature, nosilnih zidov in stebrov ter načrti inštalacij. Zraven načrtov in risb, gradbena dokumentacija vsebuje tudi ne grafične dokumente kot so: različne opisne lastnosti posameznih delov stavbe, izračuni, sezname materialnih in človeških virov, ocene stroškov ter popisi količin itd. Več o zakonskih in vsebinskih zahtevah gradbene dokumentacije se nahaja v (Pšunder et al. 2012).

Kot smo že omenili je načrtovanje iterativni proces, kar pomeni, da se proces načrtovanja po posameznih fazah ponavlja. Tako se v vsaki iteraciji izvedejo popravki in dopolnila na mestih, kjer je to potrebno. Shematski prikaz iterativnega načrtovanja prikazuje slika 3, kjer je razvidno, da prva iteracija poteka od točke A do točke B. Med točkama B in C poteka druga iteracija načrtovanja, ki ji sledi še tretja faza. V splošnem je število iteracij odvisno od kompleksnosti objekta, izkušenosti načrtovalcev in stopnje sodelovanja med različnimi skupinami v gradbenem projektu (glej poglavji [Sodelovanje znotraj projektne pisarne](#) in [Sodelovanje med partnerji v gradbenem projektu](#)). Dolžina spirale za posamezno iteracijo simbolično predstavlja velikostni razred sprememb. Tako vidimo, da so spremembe in posegi v že načrtovani objekt največje v začetnih iteracijah in se kasneje zmanjšujejo. Pri tem se vrstni red faz načrtovanja skozi iteracije praviloma ne spreminja.

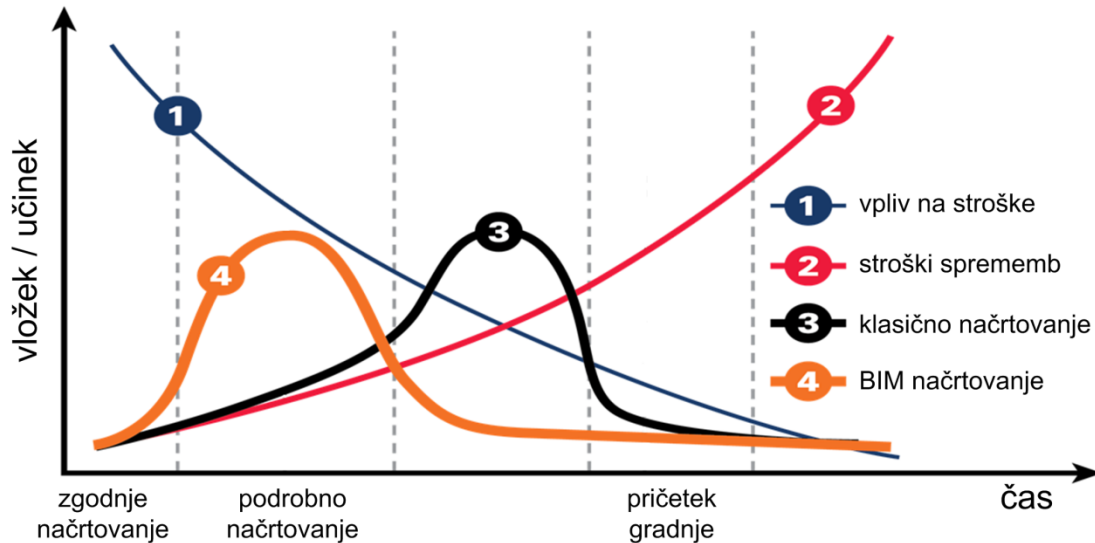




Slika 3: Shematski prikaz iterativnega načrtovanja.

Vnesene spremembe različno vplivajo na lastnosti gradbenega objekta, kar se odraža tudi v vsebini posameznih delov gradbene dokumentacije. Kolikšen je ta vpliv, je odvisno ob količine sprememb in predvsem v katerih fazi so se spremembe pojavile. Slika 4 prikazuje nekaj ključnih zakonitosti, ki veljajo za proces načrtovanja in priprave gradbene dokumentacije skozi različne faze v življenjskem ciklu gradbenega objekta. Krivulja 1 na tej sliki predstavlja vpliv na stroške zaradi sprememb, kjer vidimo, da lahko na stroške najbolj vplivamo v zgodnji fazi načrtovanja. Obratno je s stroški zaradi sprememb v kasnejših fazah življenjskega cikla gradbenega objekta, kar prikazuje krivulja 2. Kot vidimo so stroški sprememb v zgodnjih fazah načrtovanja najmanjši in eksponentno naraščajo iz faze v fazo.





Slika 4: Vpliv sprememb na stroške gradbenega projekta.

Krivulji 3 in 4 na sliki 4 prikazujeta dinamiko sprememb gradbene dokumentacije. Znano je, da se pri tradicionalnem načinu načrtovanja največ sprememb gradbene dokumentacije izvede za fazo podrobnega načrtovanja in tik pred pričetkom gradnje, nekatere dopolnitve pa celo v fazi gradnje (glej krivuljo 3 na sliki 4).

### Vpliv sprememb na gradbeno dokumentacijo

V primeru pomanjkljivega načrtovanja gradbenega objekta ali morebitnih spremembah želja naročnika je potrebno vnesti ustrezne spremembe tako, da se identificirane pomanjkljivosti odpravijo oz. zadostijo dodatne želje naročnika. Pri tradicionalnem načinu načrtovanja priprava gradbene dokumentacije (glej krivuljo 3 na sliki 4) sledi fazi podrobnega načrtovanja. Če se v fazi gradnje identificirajo pomanjkljivosti, ki so posledica neustreznega načrtovanja, potem je za odpravo takšne pomanjkljivosti potrebno vzpostaviti novo iteracijo, kot prikazuje slika 3. Ker se priprava gradbene dokumentacije izvede za fazo načrtovanja, hkrati pa je gradbena dokumentacija nujno potrebna za proces gradnje, je za vsako iteracijo potrebna ponovna posodobitev gradbene dokumentacije. Obseg posodobitev je po eni strani odvisen od vrste in kompleksnosti objekta, po drugi strani pa od količine in vrste sprememb. Običajno izdelava gradbene dokumentacije ne poteka avtomatizirano, ampak se večina le-te pripravi ročno iz obstoječih dokumentov, ki so rezultat podrobnega načrtovanja in izvedenih analiz za načrtovani gradbeni objekt. Ključna pomanjkljivost takšnega načina je, da posodabljanje gradbene dokumentacije zahteva dodatne človeške vire, je časovno precej zahtevno in podvrženo človeškim napakam.

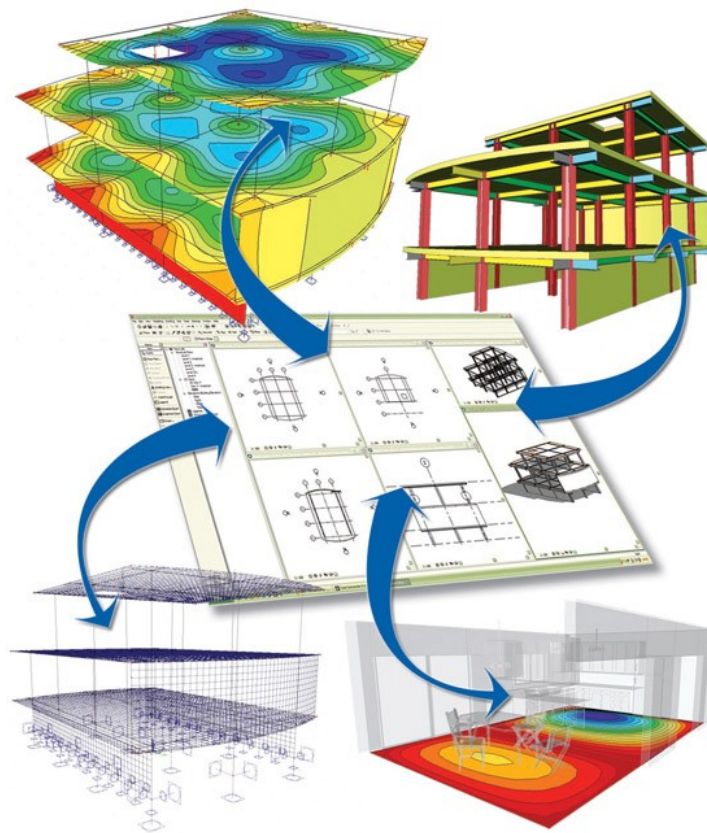
Alternativa tradicionalnemu načinu izdelave gradbene dokumentacije je priprava le-te s pomočjo informacijskega modela gradbenega objekta. V tem primeru gradbena dokumentacija nastaja že v fazi podrobnega načrtovanja, kot prikazuje krivulja 4 na sliki 4. Ključnega pomena pri nastajanju gradbene dokumentacije s pomočjo informacijskega modela gradbenega objekta je:



1. avtomatizirano zbiranje ustreznih podatkov in
2. avtomatizirana priprava digitalnih dokumentov na osnovi predpisanih predlog.

Takšen način priprave gradbene dokumentacije minimizira ali pa celo izloči prej naštetih pomanjkljivosti, kot so potreba po dodatnih človeških virih, poraba časa in vnos človeških napak. Pripravo gradbene dokumentacije iz informacijskega modela gradbenega objekta lahko primerjamo s pripravo 2D načrtov iz 3D modela stavbe. V obeh primeru govorimo samo o posebnem pogledu na informacijski model gradbenega objekta oz. 3D model.

Avtomatizirana priprava gradbene dokumentacije omogoča nastajanje le-te že v času podrobnega načrtovanja, kar pomeni, da že po zaključku načrtovanja posameznih delov gradbenega objekta se lahko pričnejo nadaljnji postopki, ki zahtevajo dosledno izdelano gradbeno dokumentacijo. V tem primeru faza za pripravo gradbene dokumentacije sploh ni potrebna oz. se minimizira le operativne postopke za distribucijo v kolikor proces gradnje ni podprt z uporabo gradbene dokumentacije v digitalni obliki. Avtomatizirano pripravo gradbene dokumentacije simbolično prikazuje slika 5, kjer različne vrste gradbene dokumentacije izhajajo iz skupnega informacijskega modela gradbenega objekta.



Slika 5: Različna gradbena dokumentacija izhaja iz skupnega informacijskega modela gradbenega objekta.

## Vprašanja

1. Konceptualno opišite potek nastajanja gradbene dokumentacije na tradicionalen način.
2. Opišite probleme, ki se pojavljajo pri pripravi gradbene dokumentacije na tradicionalen način.
3. Koliko iteracij je potrebnih za uspešno izvedeno načrtovanje in od česa je število iteracij odvisno?
4. Kakšen vpliv imajo spremembe na vsebino dokumentacije?
5. Predstavitev način priprave gradbene dokumentacije s pomočjo informacijskega modela objekta.
6. Katere so ključne prednosti avtomatizirane priprave gradbene dokumentacije?
7. Ali lahko rečemo, da avtomatizirano pripravljena dokumentacija samo poseben pogled na informacijski model gradbenega objekta? Odgovor utemeljite!
8. Kako avtomatizirana priprava gradbene dokumentacije vpliva na fazo priprave dokumentacije?



## Kazalo

Gradbena dokumentacija .....	1
Obseg gradbene dokumentacije.....	1
Vpliv sprememb na gradbeno dokumentacijo.....	5



## Kazalo slik

Slika 1: Življenjski cikel gradbenega objekta (Compact epc+ 2013).....	1
Slika 2: Časovno zaporedje gradbene dokumentacije v življenjskem ciklu gradbenega objekta (Pšunder et al. 2012). .....	3
Slika 3: Shematski prikaz iterativnega načrtovanja. ....	4
Slika 4: Vpliv sprememb na stroške gradbenega projekta.....	5
Slika 5: Različna gradbena dokumentacija izhaja iz skupnega informacijskega modela gradbenega objekta. ....	6



## Literatura

Compact epc+, 2013. Compact epc+. <http://www.compact-epc.com/index.php?id=8>.

Pšunder, M., Klanšek, U. & Šuman, N., 2012. *Gradbeno poslovanje* 1st ed.,

