

Elena EFTIMIE

Tehnici avansate de animație



Editura
Universității
Transilvania
din Brașov

2025

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: Str. Iuliu Maniu nr. 41A
500091 Brașov
Tel.: 0268 476 050
Fax: 0268 476 051
E-mail: editura@unitbv.ro

Editură recunoscută CNCSIS, cod 81

ISBN 978-606-19-1774-7 (ebook)

Copyright © Autorul, 2025

Referenți științifici: Prof. dr. ing. Ioan STROE
Conf. dr. ing. Mihai LATEȘ

INTRODUCERE

Importanța animației *3D* este recunoscută prin multitudinea aplicațiilor pe care aceasta le cunoaște, fiind predominantă în aproape orice tip de activitate. În prezent, piața software-ului de animație se concertează tot mai mult spre animația *3D*, datorită cererii tot mai mari de animații cu aspect profesional care să permită crearea de efecte speciale (umbrire, iluminare), crearea personajelor în timp real, pre-vizualizarea și ajustarea traseelor de animație, crearea comportamentelor realiste pentru lichide, crearea efectelor sofisticate de particule și, nu în ultimul rând, permiterea accesului la biblioteci extinse de plug-inuri.

Din multitudinea de soft-uri de animație, această lucrare propune utilizarea soft-ului *3ds Max*, care reprezintă în prezent unul dintre cele mai performante programe de animație *3D*. Multitudinea instrumentelor puternice pe care acest software le oferă permit crearea de conținut *3D* de calitate superioară în mai scurt timp. Referitor la zona de animație *3D*, soft-ul pune la dispoziție un număr mare de instrumente puternice de modelare și redări arhitecturale flexibile, cum ar fi studioul de caractere, care permite animația personajelor virtuale folosind o platformă de caractere sau un schelet „Biped”.

Cu ajutorul programului *3ds Max*, se pot produce animații *3D* profesionale de înaltă calitate. Acest software reprezintă un instrument eficient pentru obținerea rapidă a conținutului *3D* de bună calitate și permite obținerea animațiilor profesionale de înaltă calitate.

Domeniile vizate de aceste activități sunt, după cum se poate observa, extrem de diverse, de la conceperea și producerea bunurilor materiale, conducerea și supravegherea proceselor, până la activitățile de ordin estetic, practic fără a exista limite de aplicabilitate. Cele mai recente domenii se referă la dezvoltarea aplicațiilor privind robotica, comanda și urmărirea proceselor, cartografie, meteorologie, realitate virtuală, artă, comerț și reclamă, efecte speciale în cinematografie.

Animația *3D*, în trecut un domeniu rezervat centrelor de cercetare, a devenit în prezent o artă aplicată (sau de multe ori o știință aplicată).

Amestecul de matematică, asistență pe calculator și estetică în grafica pe calculator, face ca cei care au experiență practică să fie unii dintre cei mai divers calificați profesioniști. Rezultatele muncii lor poate fi văzut în orice etapă de dezvoltare a produselor, respectiv obiectele pot fi vizualizate încă din faza de proiectare sau pot fi vizitate locuri doar imaginate, toate aceste aproximând realitatea în funcție de cât de talentat este animatorul.

În plus, pe lângă cele prezentate mai sus, cu fiecare nouă versiune, softurile orientate pe grafică extind limitele grupului de animatori care le folosesc. Pe măsură ce puterea și facilitățile acestor programe de animație profesională pe calculator cresc, complexitatea cu care are de-a face un utilizator, la primul contact cu aceste aplicații îl poate descuraja. În același timp, pot fi văzute animații care motivează și inspiră.

Marele avantaj al reprezentărilor grafice constă în forța lor sugestivă deosebită. În acest sens se amintesc doar jocurile video pe calculator, care au ajuns astăzi la performante grafice ridicate pe echipamente deloc pretențioase.

Prezenta lucrare, *Tehnici avansate de animație*, este organizată în secțiuni progresive. Fiecare nou capitol presupune familiarizarea cu instrumentele de animație și procedurile deja prezentate, astfel că cel mai eficient mod de a învăța este acela de a parcurge cartea în ordinea efectivă a capitolelor sale.

Această carte este orientată în mare măsură pe aspectele privind realizarea animațiilor, folosind capacitatea de a lega obiecte împreună pentru a forma un lanț, prin legarea unui obiect la altul, creându-se o relație de tipul părinte-copil.

În acest sens, sunt prezentate aspecte teoretice privind organizarea obiectelor în ierarhii (*Capitolul 1*). Crearea ierarhiilor de obiecte presupune stăpânirea diferitelor strategii de legare a obiectelor dar și a comenzilor necesare legării și dezlegării obiectelor, respectiv a ajustării punctelor pivot.

Modulele specifice *3ds Max* conțin un număr mare de instrumente necesare manipulării ierarhiilor (*Capitolul 2*). Odată cu crearea ierarhiilor de obiecte este necesară configurare acestora și gestionarea comportamentului cinematicii inverse.

Cinematica inversă este un instrument esențial în *3ds Max* pentru a facilita crearea de animații complexe și realiste, permițând animatorilor să obțină rapid și eficient mișcările dorite (*Capitolul 3*). În *3ds Max*, cinematica

inversă (*Inverse Kinematics*, prescurtat *IK*) este o tehnică folosită în crearea lanțurilor cinematice și animație pentru a controla poziția și orientarea unui lanț de articulații (sau oase) prin manipularea poziției finale a lanțului, adică a „efectorului final”. Această tehnică reprezintă opusul cinematicii directe (*Forward Kinematics*, *FK*), unde fiecare articulație este rotită manual pentru a obține poziția dorită.

Importanța cinematicii inverse rezultă din avantajele pe care aceasta le oferă, respectiv:

- *controlul simplificat* dat de înlocuire necesității de manipulare a fiecărei articulații individual, fiind posibilă poziționarea directă a efectorului, restul lanțului ajustându-se în mod automat;
- *realismul animației*, deoarece *IK* permite de mișcări mai naturale și mai realiste, cum ar fi plasarea unui picior pe sol sau atingerea unui obiect cu mâna, fără a trece prin poziții nenaturale;
- *eficiență* prin reducerea timpului necesar pentru animație, deoarece mișcările complexe pot fi realizate mai rapid și mai ușor.

Toate aceste avantaje fac posibilă utilizarea *IK* în domenii precum animația de personaje (unde este posibil controlul brațelor, picioarelor și altor părți ale corpului pentru a realiza mișcări naturale), robotică (permite simularea mișcării roboților unde precizia poziționării finale este crucială) și interacțiuni ale obiectelor (prin crearea animațiilor în care personaje sau obiecte trebuie să interacționeze precis cu mediul înconjurător).

Cinematica directă (*Forward Kinematics*, prescurtat *FK*) este o tehnică folosită în crearea lanțurilor și animație care implică controlul poziției și rotației fiecărei articulații individuale dintr-un lanț cinematic pentru a obține poziția dorită a unui obiect sau personaj (*Capitolul 4*). În contrast cu cinematica inversă (*IK*), *FK* necesită manipularea directă a fiecărui segment al lanțului cinematic.

Scopul cinematicii directe (*FK*) este esențial în aplicații care necesită control detaliat și precizie, animarea mișcărilor fluente și continue; de asemenea *FK* este simplă și intuitivă pentru animarea mișcărilor simetrice și ciclice, cum ar fi mersul sau alergarea sau animația de puncte pivot multiple.

În plus, un avantaj al cinematicii directe constă în predictibilitate oferită de faptul că mișcările sunt mai previzibile și directe comparativ cu *IK*.

Având în vedere domeniul abordat de această lucrare, dar și aspectul profund aplicativ al unor aspecte de inginerie, *Capitolul 5* și *Capitolul 6* sunt

destinate dezvoltării și rezolvării unor aplicații concrete de cinematică directă și cinematică inversă. În acest sens, sunt dezvoltate aplicații de cinematică inversă pentru facilitarea și crearea unor animații complexe și realiste, fiind detaliat modul de obținere rapid și eficient de mișcări dorite.

Din necesitate, această carte presupune că cititorul posedă, încă de la începutul parcurgerii cărții, o anumită îndemânare. În afara unor îndemânări în domeniile soft și hard, animatorii buni trebuie să posede un simț estetic dezvoltat, înainte de a începe să învețe mecanismele instrumentelor pe care le au la îndemână. Rezultatul final al muncii pe care aceștia o fac este aproape întotdeauna judecat după cât de bine arată o scenă și este destul de ușor ca această muncă să se sfârșească într-un mod nesatisfăcător. Nu există un buton „să arate bine”. De asemenea, atât utilizatorii începători, cât și cei avansați ai programelor de grafică au de câștigat de pe urma studiului noțiunilor elementare de design.

Cartea este ideală pentru utilizatorii care au petrecut deja ceva timp combinând folosirea calculatorului cu crearea de imagini și desene. Cu puțină răbdare, utilizatorii mai puțin experimentați ar trebui să poată urmări noțiunile prezentate. Utilizatorii aflați într-un stadiu mai avansat vor găsi însă în această carte numeroase informații utile și vor putea să își completeze eventualele lacune pe care le au în urma explorărilor inițiale ale aplicațiilor de animație grafică.

CUPRINS

1. Organizarea obiectelor în ierarhii.....	10
1.1. Strategia de legare a obiectelor.....	12
1.2. Legarea și dezlegarea obiectelor	15
1.2.1. Comanda Select and Link	16
1.2.2. Comanda Unlink Selection	17
1.3. Ajustarea punctelor pivot	17
1.4. Vizualizarea și selectarea ierarhiilor	19
1.4.1. Vizualizarea unei ierarhii	19
1.4.2. Selectarea membrilor ierarhiei: ascendenți și descendenți ...	20
1.4.3. Selectarea membrilor ierarhiei: frații	21
1.4.4. Personalizarea meniului Quad	22
2. Panoul de comandă Hierarchy.....	23
2.1. Pagina Pivot.....	23
2.1.1. Caseta derulantă Adjust Pivot.....	24
2.1.2. Caseta derulantă Working Pivot	27
2.1.3. Caseta derulantă Adjust Transform	31
2.1.4. Caseta derulantă Skin Pose	33
2.2. Pagina IK	34
2.2.1. Casetele derulante ale instrumentului HD IK Solver.....	35
2.2.1.1. Caseta Object Parameters (HD Solver)	35
2.2.1.2. Position/Orientation/Bind to Follow Object (HD- Solver)	36
2.2.1.3. Precedența – parametrul Precedence (HD Solver) ..	41
2.2.1.4. Copierea, lipirea și oglindirea parametrilor unei articulații (HD Solver).....	43
2.2.1.5. Cuple de rotație și de translație – Grupurile Sliding Joints și Rotational Joints (HD Solver).....	45
2.2.2. Casetele derulante Interactive și Applied IK	48
2.2.2.1. Caseta derulantă Inverse Kinematics.....	48
2.2.2.2. Caseta derulantă Auto Termination (Interactive IK)	51

2.3. Pagina Link Info	52
2.3.1. Caseta derulantă Locks	52
2.3.2. Caseta derulantă Inherit	53
3. Cinematica inversă	55
3.1. Terminologia IK	57
3.2. Metode de cinematică inversă	60
3.2.1. Instrumente IK Solvers	62
3.2.1.1. Instrumentul History-Independent (HI)IK Solver	70
3.2.1.2. Instrumentul History-Dependent (HI) IK Solver	91
3.2.1.3. Instrumentul IK Limb Solver	92
3.2.1.4. Instrumentul Spline IK	94
3.2.2. IK Interactiv și IK aplicat.....	95
3.2.2.1. Animația cu Interactive IK	95
3.2.2.2. Animația cu Applied IK	96
3.3. Controlul articulațiilor	98
3.3.1. Setarea parametrilor articulațiilor	98
3.3.2. Activarea axelor articulațiilor	100
3.3.3. Limitarea deplasărilor și rotațiilor din articulații	102
4. Cinematica directă.....	104
4.1. Utilizarea obiectelor false Dummy.....	105
4.2. Animarea legăturilor.....	107
4.3. Ajustarea transformărilor obiectelor.....	109
4.4. Blocarea transformărilor obiectelor.....	111
4.5. Modificarea moștenirii legăturilor.....	111
5. Animația lanțurilor cinematice.....	113
5.1. Diferența dintre cinematica directă și cinematica inversă	113
5.2. Animația unui mecanism R R R R	118
5.3. Animația unui mecanism R R R.....	133
5.3.1. Simularea cu instrumentul IK Solvers – HI Solver.....	140
5.3.2. Simularea cu instrumentul IK Solvers – HD Solver	143
5.4. Animația unui mecanism R ⊥ R R R	146
5.5. Simularea funcționării unui mecanism R ⊥ T	148
5.6. Simularea unui mecanism T ⊥ T	153
5.7. Simularea mecanismului R T ⊥ T	159
5.8. Simularea funcționării mecanismului T ⊥ T ⊥ T	162

6. Simularea cu ajutorul IK și al controlerelor de tip Constraint	165
6.1. Simularea funcționării unui piston hidraulic folosind controlerul LookAt Constraint	165
6.2. Simularea funcționării unui piston hidraulic folosind controlerul Position Constraint și LookAt Constraint.....	168
6.3. Sisteme Bones și comanda Spline IK Solver	171
6.4. Simularea unui braț extensibil cu ajutorul instrumentului HI Solver	175
6.5. Simularea pașilor cu ajutorul instrumentului HI Solver.....	183
6.6. Simularea manivelei unui piston folosind instrumentul Link Constraint.....	194
6.7. Animația unui motor cu ardere internă folosind sistemele Bones	201
Bibliografie	208

1. ORGANIZAREA OBIECTELOR ÎN IERARHII

Unul dintre cele mai utile instrumente în realizarea animațiilor pe computer constă în capacitatea de a lega obiecte împreună pentru a forma un lanț. Prin legarea unui obiect la altul, se creează o relație de tipul părinte-copil.

Transformările aplicate părintelui sunt transmise și obiectelor copil. Un lanț este denumit și ierarhie.

Comenzile *3ds max* necesare pentru construirea și manipularea ierarhiilor se pot accesa folosind una dintre următoarele metode [3, 6, 8]:

- butoanele **Select and Link** și **Unlink Selection** permit crearea și înlăturarea legăturilor între obiectele din scenă;
- sistemul **Bones** aflat în panoul de comandă **Create**, sub-panoul **Systems** permite crearea scheletului unui personaj sau al unui obiect care urmează a fi animat. De asemenea, se pot crea sisteme de schelete alegând **Bone Tools** din meniul **Animation**. Orice ierarhie de obiecte poate fi transformată în schelet selectând ierarhia și activând caseta de dialog **Bone Tools**, caseta derulantă **Object Properties** apoi **Bone On**;
- panoul **Hierarchy** conține comenzi pentru controlul modului în care se comportă legăturile;
- panoul **Motion** conține comenzi pentru a controla modul în care se comportă legăturile atunci când se utilizează un instrument **History Dependent (HD) Solver** (dependent de istorie).

Utilizări comune pentru ierarhii

- Legarea unei colecții mari de obiecte la un singur părinte, astfel încât acestea să poată fi animate și transformate cu ușurință prin deplasarea, rotirea sau scalarea părintelui.
- Legarea țintei unei camere sau lumini de un alt obiect, astfel încât să urmărească obiectul prin scenă.
- Legarea obiectelor la obiecte fictive pentru a crea mișcări complexe prin combinarea mai multor mișcări simple.

- Legarea obiectelor pentru a simula structuri articulate pentru a anima personaje sau ansambluri mecanice.

Componentele unei ierarhii

Relația dintre obiectele legate între ele într-o ierarhie este analogă cu un arbore genealogic [4, 7, 8].

Părinte – Parent

Obiect care controlează unul sau mai mulți copii. Un obiect părinte poate fi de adesea controlat de un alt obiect părinte superior.

Copil – Child

Obiect controlat de părintele său. Un obiect copil poate fi, de asemenea, un părinte pentru alți copii.

Strămoși – Ancestors

Părintele și toți părinții părintelui unui obiect copil.

Urmași, descendenți – Descendants

Copii și toți copiii copiilor unui obiect părinte.

Ierarhie – Hierarchy

Colecția tuturor părinților și copiilor legați împreună într-o singură structură.

Rădăcină – Root

Obiect unic părinte care este superior tuturor celorlalte obiecte din ierarhie. Toate celelalte obiecte sunt descendenți ai obiectului rădăcină.

Subarborele – Subtree

Toți descendenții unui părinte selectat.

Ramură – Branch

Calea prin ierarhie de la un părinte la un singur descendent.

Frunze – Leaf

Obiect copil care nu are copii. Cel mai de jos obiect dintr-o ramură.

Legătură – Link

Legătura dintre un părinte și copilul său. O legătură transmite informații despre poziție, rotație și scară de la părinte la copil.

Pivot – Pivot

Definește centrul local și sistemul de coordonate pentru fiecare obiect. O legătură poate fi tratată ca fiind legătura dintre pivotul unui obiect copil și pivotul părintelui său.

1.1. Strategia de legare a obiectelor

Înainte de a începe orice proces de legare, în afară de situația creării celei mai simple ierarhii, este necesară acordarea atenției în scopul planificării unei strategii de conectare. Selectarea rădăcinii ierarhiei și a modului în care ramurile cresc până la obiectele frunze vor avea efecte importante asupra gradului de utilizare a modelului realizat.

Strategia din spatele legării obiectelor într-o ierarhie poate fi redusă la două principii importante:

- ierarhia urmează o progresie (ordine) logică de la părinte la copil;
- obiectele părinte se mișcă mai puțin (au un grad de mobilitate mai redus) decât descendenții lor.

În cadrul acestor două principii există o flexibilitate aproape nelimitată în ceea ce privește modul în care se leagă obiectele. Dacă se analizează modul în care se intenționează să fie utilizată ierarhia și aceasta este legată ținând cont de această utilizare, rareori va apărea vreo problemă [3, 8].

Progresia (legarea în ordinea) de la părinte la copil

Ordinea de la părinte la copil înseamnă că legăturile nu se realizează neregulat de la un obiect la obiect. Dacă două obiecte se ating, probabil că ar trebui să fie legate ca părinte și copil. Nu există nimic care să împiedice legarea unui corp, spre exemplu, în ordinea: Coapsă→Picior→Tibie→Talie. Mai târziu însă o astfel de strategie de legare ar putea fi regretată. Efortul de a descoperi cum să fie aplicate funcțiile de transformare unor obiecte legate într-un mod atât de ciudat ar fi destul de dificil. O ordine mai logică ar fi Picior→Tibie→Coapsă→Talie.

Utilizarea ierarhiilor multiple

O metodă de înlocuire a construirii unui singur lanț osos de la șold la deget, ar putea consta din realizarea unui lanț de la șold la gleznă iar apoi a unui al doilea lanț independent de la călcâi la deget. La final se pot lega lanțurile împreună pentru a forma un ansamblu complet de picior.

Deoarece sunt legate între ele, cele două lanțuri pentru picior și talpa piciorului ar putea fi considerate un singur lanț. Cu toate acestea, modul în

care se animează tratează fiecare lanț separat, permițând un control fin asupra părților.

Cu un asemenea tip de aranjament pe lanțuri pentru picior și talpa acestuia, talpa piciorului ar putea fi făcută să rămână pe pământ în timp ce piciorul se îndoaie. De asemenea, permite controlul independent al rotației piciorului, pivotând pe călcâi sau deget, ceea ce ar determina apoi genunchiul să se îndoaie.

Părinții se mișcă mai puțin decât descendenții

Din cauza modului în care transformările sunt moștenite de la părinte la copil, mici ajustări ale unui obiect părinte ar putea necesita ajustarea tuturor descendenților acestuia. Abordarea tipică a legăturii constă din alegerea ca obiect rădăcină a obiectului care se mișcă cel mai puțin. Obiectele apropiate de rădăcină ar trebui să se miște foarte puțin, iar obiectele apropiate de frunze ar trebui să se miște cel mai mult.

Acest lucru este valabil mai ales atunci când se leagă structuri îmbinate, cum ar fi roboți sau mașini, sau se intenționează utilizarea ierarhiei cu cinematică inversă.

O excepție de la această regulă apare atunci când se utilizează obiectul rădăcină ca mâner. Toți descendenții rădăcinii sunt alături doar pentru deplasare. Ca analogie se ia în considerare exemplul unei tăvi pline cu obiecte care călătoresc pe o bandă transportoare. Toate obiectele ar trebui să fie copii ai tăvii, chiar dacă tava se mișcă mult mai mult decât oricare dintre celelalte obiecte.

Alegerea rădăcinii unei ierarhii

Cel mai bun candidat pentru rădăcina unei ierarhii se poate găsi răspunzând la următoarea întrebare: dacă se deplasează un obiect, ar trebui ca toate celelalte obiecte din ierarhie să se miște odată cu acesta?

- Dacă răspunsul este ”aproape întotdeauna”, atunci obiectul poate reprezenta un candidat probabil pentru obiectul rădăcină. Exemple de acest tip de obiect sunt un trunchi, o bază de lampă și un trunchi de copac.
- Dacă răspunsul ”nu prea des” atunci probabil că acest obiect este un obiect copil. Exemple de acest tip de obiecte sunt mâinile, abajururile și frunzele copacilor. Dacă de exemplu se mișcă mâna unui personaj, trunchiul acestuia nu ar trebui să se miște.

Odată ce s-au depistat câțiva candidați pentru obiectul rădăcină, aceștia se vor examina mai detaliat. Pentru a determina un obiect rădăcină bun pentru

o ierarhie se vor utiliza următoarele criterii:

- deplasarea obiectului rădăcină are de obicei un efect major asupra tuturor celorlalte obiecte din ierarhie;
- în schimb, obiectul rădăcină este în mare parte neafectat de mișcarea altor obiecte din ierarhie;
- obiectul rădăcină este rar animat și este mutat sau rotit în primul rând pentru a plasa ierarhia în locul corect din scenă;
- obiectul rădăcină se află la sau aproape de centrul de masă virtual al ierarhiei.

Obiectul care îndeplinește cel mai bine aceste criterii este obiectul rădăcină. Apoi se va crea ierarhia cu toate celelalte obiecte ca descendenți ai obiectului rădăcină ales.

Legarea obiectelor pentru cinematică inversă

Cinematica inversă (**IK**) folosește obiectul copil ca forță motrice pentru animație. Metoda **IK** este mai puțin îngăduitoare și depinde foarte mult de strategia de legătură pentru efectuarea calculelor.

Atunci când se leagă ierarhiile pentru utilizare cu cinematica inversă trebuie luate în considerare două principii suplimentare, și anume:

- legăturile și plasarea pivotului simulează locațiile articulațiilor din lumea reală;
- se alege un obiect lângă centrul de masă al structurii, sau centrul de greutate, ca rădăcină a ierarhiei; centrul de masă din lumea reală este punctul de pe un obiect asupra căruia sunt aplicate reacțiuni la forțele externe.

Observație

Se recomandă evitarea utilizării scalării neuniforme asupra obiectelor dintr-o ierarhie care va fi animată folosind **IK**. Dacă se aplică scalarea neuniformă se vor observa întinderi și înclinări. Pentru a evita această problemă se poate aplica scalarea neuniformă a obiectelor la nivel de sub-obiect.

Legarea obiectelor după animație

La legarea unui obiect de un altul, relația de legătură dintre copil și părintele acestuia este determinată de poziția, rotația și scara obiectelor părinte și copil atunci când se realizează legătura [4, 7, 8].

Spre exemplu, dacă se leagă o sferă staționară de un cub animat.

- la cadrul 0 cubul se află lângă sferă;
- la cadrul 50 cubul este la 20 de unități distanță.

Legarea sferei de cub face ca sfera să se miște odată cu cubul. Distanța dintre sferă și cub depinde de cadru când se realizează legătura. Legarea sferei pe diferite cadre are următoarele efecte:

- legătura se realizează la cadrul 0, sfera rămâne lângă cub în timp ce se deplasează;
- legătura se realizează la cadrul 50, sfera rămâne la o distanță de 20 de unități de cub în timp ce aceasta se deplasează.

Deconectarea obiectelor după animație

Când se deconectează un copil, transformările din cadrul 0 ale acestuia sunt preluate din transformările părintelui său la cadrul când legătura este eliminată.

De exemplu, se consideră o sferă legată de un cub care se mișcă în jurul feței unui ceas. Cubul începe la ora 12 și parcurge toată fața de-a lungul a 100 de cadre. La animația originală, mingea legată urmează caseta animată.

Dacă sfera se deconectează, aceasta încetează să urmărească cubul. Poziția sferei depinde de poziția, rotația sau scara acesteia la cadrul la care este îndepărtată legătura. Deconectarea sferei la diferite cadre are următoarele efecte:

- deconectarea la cadrul 0, sfera rămâne la ora 12;
- deconectarea la cadrul 25, sfera se oprește la ora 3;
- deconectarea se realizează la cadrul 75, sfera se oprește la ora 9.

1.2. Legarea și dezlegarea obiectelor

Pentru a crea și elimina legături între obiecte se utilizează butoanele **Select and Link** și **Unlink Selection** din bara de instrumente.

Legarea obiectelor

Procesul general de creare a legăturilor constă din a construi ierarhia de la copil la părinte. Pentru aceasta se execută clic pe butonul **Select and Link** din bara de instrumente, se selectează unul sau mai multe obiecte ca copii, apoi se trage cursorul de legătură din selecție la un singur obiect părinte. Obiectele selectate devin copii ale obiectului părinte.

Odată ce obiectele sunt legate, orice transformări aplicate părintelui sunt aplicate și copiilor acestuia. De exemplu, dacă se scalează părintele la 150%, dimensiunea copiilor săi și distanța dintre copii și părinte sunt, de asemenea, scalate cu 150%.

Dezlegarea (deconectarea) obiectelor

Pentru a elimina legătura de la obiectele selectate către părinții lor se execută clic pe butonul **Unlink Selection**. Orice copil al obiectului selectat nu este afectat. O întregă ierarhie se poate dezlega rapid făcând dublu clic pe obiectul rădăcină pentru a selecta obiectul și toți copiii acestuia. Apoi se execută clic pe butonul **Unlink Selection**.

Legarea obiectelor animate

Înainte de a începe animația obiectelor este necesar să se stabilească legăturile. Legătura obiectelor cu **Select and Link** nu poate fi animată; legătura rămâne în vigoare pe toată durata animației.

Dacă se dorește ca obiectele să fie legate doar în timpul unei anumite părți a animației, se poate folosi o constrângere **Link** pentru a modifica legătura la cadrele specificate.

Afișarea legăturilor

O ierarhie complexă *mesh* poate fi afișată cu legăturile vizibile sau chiar cu legăturile care înlocuiesc obiectele de tip *mesh*. Pentru a afișa legăturile, mai întâi se selectează obiectele legate. În panoul de comandă **Display**, caseta derulantă **Link Display**, se activează caseta de validare **Display Links** pentru a vedea legăturile. De asemenea, se poate activa **Link Replaces Object** pentru a vedea numai legăturile și nu obiectele [4, 7, 8].

1.2.1. Comanda Select and Link

Pentru a defini relația ierarhică dintre două obiecte legându-le ca copil și părinte se utilizează butonul **Select and Link**. Această comandă poate fi accesată cu ajutorul barei de instrumente principale, butonul **Select and Link**.

Legătura se realizează de la obiectul selectat (copil) la orice alt obiect (părinte). De asemenea, este posibilă legarea unui obiect la un grup închis. Când se realizează această operație, obiectul devine un copil al grupului părintelui, mai mult decât orice membru al grupului. În timpul operației întregul grup va clipi pentru a arăta că s-a realizat legarea la grup.

Un copil moștenește transformările (deplasare, rotire, scalare) aplicate părintelui, dar transformările copilului nu au niciun efect asupra părintelui. Dacă se dorește ca copilul să nu moștenească transformările, se utilizează utilitarul **Link Inheritance (Selected)** (panoul de comandă **Utilities**, caseta derulantă **Utilities**, butonul **More**, caseta de dialog **Utilities**, caseta derulantă **Link Inheritance (Selected)**) sau se utilizează controalele aflate în secțiunea **Link Info** din panoul **Hierarchy**.

De asemenea, se pot crea legături ierarhice folosind **Schematic View**. Pentru aceasta se utilizează butonul **Connect** din bara de instrumente **Schematic View** pentru a crea legături ierarhice între noduri.

Procedură

Pentru a lega două obiecte:

- se execută clic pe **Select and Link**;
- se trage o linie de la un obiect (copil) la orice alt obiect (părinte).

Observație

Nu este necesară selectarea mai întâi a obiectului copil.

1.2.2. Comanda Unlink Selection

Pentru a elimina o relația ierarhică dintre două obiecte se utilizează butonul **Unlink Selection**. Accesul la această comandă se realizează cu ajutorul barei de instrumente principală prin acționarea butonului **Unlink Selection**. Butonul **Unlink Selection** dezleagă un obiect copil de obiectul părinte. De asemenea, legarea și dezlegarea unei ierarhii se poate realiza cu ajutorul **Schematic View**.

Procedură

Pentru a dezlega un obiect copil de la un obiect părinte:

- se selectează obiectul copil care se dorește a fi dezlegat;
- se execută clic pe butonul **Unlink Selection**.

1.3. Ajustarea punctelor pivot

Punctul de pivot al unui obiect reprezintă centrul său local și sistemul de coordonate local.

Punctul de pivotare al unui obiect este utilizat în mai multe scopuri:

- ca centru pentru rotație și scalare atunci când este selectat centrul de transformare **Pivot Point**;
- ca locație implicită a centrului unei funcții de modificare (modificator);
- ca decalaj de transformare pentru copiii legați;
- ca locație comună pentru **IK**.

Punctele pivot se pot ajusta făcând clic pe sub-panoul **Pivot** din panoul **Hierarchy** și apoi folosind instrumentele din caseta derulantă **Adjust Pivot**.

Funcțiile din caseta derulantă **Adjust Pivot** nu pot fi animate. Ajustarea pivotului unui obiect pe orice cadru îl modifică pentru întreaga animație [8].

Grupul Move/Rotate/Scale

Influența doar asupra pivotului

Când butonul **Affect Pivot Only** este activat, transformările de deplasare și rotire sunt aplicate numai pivotului unui obiect selectat.

Deplasarea sau rotirea pivotului nu afectează obiectul sau copiii acestuia.

Scalarea pivotului scalează obiectul din centrul pivotului, dar copiii acestuia nu sunt afectați.

Influența doar asupra obiectului

Când butonul **Affect Object Only** este activat, transformările sunt aplicate numai obiectelor selectate. Punctele pivot nu sunt afectate.

Deplasarea, rotirea sau scalarea obiectului nu afectează pivotul sau copiii acestuia.

Influența doar asupra ierarhiei

Când butonul **Affect Hierarchy Only** este activat, transformările de rotire și scalare sunt aplicate numai legăturilor dintre obiecte și copiii lor.

Scalarea sau rotirea unui obiect afectează decalajele legăturilor tuturor descendenților săi, fără a afecta geometria obiectului sau a descendenților acestuia. Descendenții își schimbă poziția din cauza legăturilor scalate sau rotite.

Această tehnică se utilizează pentru a ajusta relația de decalaj dintre obiectele legate și pentru a ajusta scheletele pentru a se potrivi cu geometria.

Grupul Alignment

Butoanele din grupul **Alignment** al casetei derulante **Adjust Pivot** își schimbă etichetele butoanelor în funcție de starea **Affect Object Only** și

Affect Pivot Only. Alinierea este dezactivată atunci când butonul **Affect Hierarchy Only** este activ.

Center to Object/Pivot

Deplasează obiectul sau punctul pivot, astfel încât pivotul să fie în centrul obiectului.

Align to Object/Pivot

Rotește obiectul sau pivotul pentru a alinia pivotul cu sistemul de coordonate local original al obiectului.

Align to World

Rotește obiectul sau pivotul pentru a se alinia cu sistemul de coordonate global.

Grupul Pivot

Resetarea pivotului

Pentru a readuce punctul de pivot al unui obiect selectat la poziția și orientarea pe care le-a avut atunci când obiectul a fost creat pentru prima dată, se execută clic pe **Reset Pivot**.

Butonul **Reset Pivot** nu are niciun efect asupra obiectului sau copiilor acestuia. Starea **Affect Pivot Only** și **Affect Object Only** este ignorată.

1.4. Vizualizarea și selectarea ierarhiilor

Pentru a vizualiza o structură ierarhică și pentru a selecta obiecte din aceasta există mai multe moduri.

1.4.1. Vizualizarea unei ierarhii

Pentru a vizualiza relațiile dintre părinți și copii într-o ierarhie legată se poate utiliza una dintre următoarele metode [3, 4, 6, 7]:

- Fereastra de dialog **Select From Scene** se deschide ori de câte ori se utilizează o metodă de selecție după nume, cum ar fi selectarea meniului **Edit**, sub-meniul **Select by Name**, sau executând clic pe butonul **Select by Name** din bara de instrumente principală sau apăsând tasta **H**; Pentru a lista obiectele în mod ierarhic, se activează **Display SubTree** din caseta de dialog; în acest fel copiii se indentează sub părintele lor.

- Lista **Hierarchy** din partea stângă a ferestrei **Track View** afișează toate obiectele folosind indentarea pentru a exprima ierarhia. Obiectele copil sunt afișate indentat și sub părintele lor. Un avantaj suplimentar al ferestrei **Track View** este că se poate controla vizualizarea prin restrângerea și extinderea ramurilor ierarhiei.

O pictogramă pătrată cu un plus indică o ramură restrânsă sub acel obiect, în timp ce un minus indică o ramură extinsă. Se execută clic pe o pictogramă plus pentru a extinde o ramură sau pe o pictogramă minus pentru a o restrânge.

Observație

În scenele complexe, pentru a naviga rapid prin fereastra **Track View** se utilizează fereastra **Curve Editor**. Pentru aceasta, pur și simplu se selectează obiectul din viewport, iar apoi se execută clic dreapta și se alege **Curve Editor**. Fereastra **Track View – Curve Editor** se va deschide cu obiectul selectat în partea de sus a ferestrei.

- de asemenea, se poate utiliza **Schematic View** pentru a vizualiza ierarhiile. Pe lângă faptul că afișează structura, **Schematic View** conține instrumente pentru manipularea ierarhiilor.

1.4.2. Selectarea membrilor ierarhiei: ascendenți și descendenți

După selectarea unuia sau a mai multor obiecte dintr-o ierarhie, se poate selecta ascendentul sau descendentul direct al acestuia cu ajutorul tastelor **Page Up** și **Page Down**:

- **Page Up** de-selectează obiectul și selectează părintele obiectului;
- **Page Down** de-selectează obiectul și selectează toți copiii săi imediați, dar nu toți descendenții din lanț.

Observație

Aceste comenzi de navigare sunt deosebit de utile la setarea parametrilor legăturilor pentru cinematica inversă.

Pentru a selecta un obiect și toți descendenții acestuia, se poate:

- executa dublu clic pe obiect într-un viewport;
- executa dublu clic pe pictograma obiectului din lista **Track View Hierarchy**.

1.4.3. Selectarea membrilor ierarhiei: frații

În interfața **Customize User Interface** sunt disponibile acțiunile **Select Sibling – Next** și **Select Sibling – Previous** care apar în grupul **Main UI** și categoria **All Commands**. Acelor acțiuni li se pot atribui taste rapide, butoane în bara de instrumente și așa mai departe. Se recomandă atribuirea tastelor săgeată dreapta și respectiv săgeată stânga; în mod implicit, acestor taste nu li se atribuie comenzi rapide de la tastatură [3, 6, 8].

Utilizarea uneia dintre aceste comenzi înlocuiește selecția curentă cu un singur obiect la același nivel ierarhic. Mai precis, un frate este definit în acest context ca un obiect de distanță generațională egală față de cel mai apropiat părinte al obiectului selectat. Toate obiectele care se încadrează în această definiție sunt frați, astfel că în ierarhiile asimetrice, obiectul A poate fi un frate al obiectului B, dar inversul nu este neapărat cazul.

De exemplu, se consideră ierarhia asimetrică a obiectelor **Dummy** prezentată în fig. 1.1.

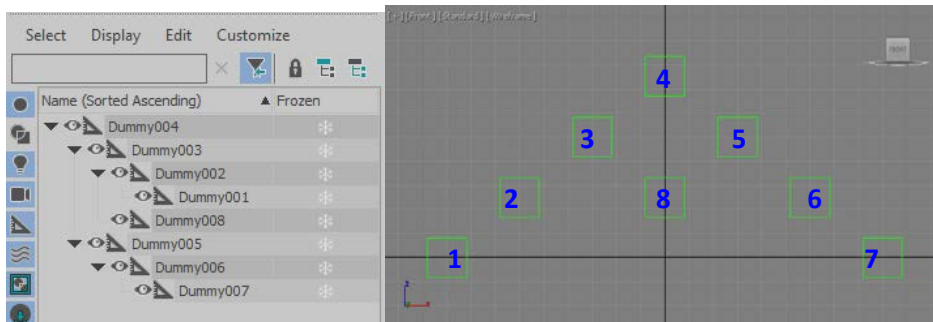


Fig. 1.1. Ierarhia în fereastra **Select From Scene** și în fereastra viewport

Din imaginea viewport-ului, s-ar putea părea că obiectele **Dummy 06**, **08** și **02** sunt frați unul cu celălalt. Cu toate acestea, configurarea este de fapt mai complicată, deoarece obiectele **Dummy 02** și **08** sunt copiii direcți ai obiectului **Dummy03**, în timp ce **Dummy06** este un copil direct al lui **Dummy05**, care are același nivel ierarhic ca **Dummy03**:

- selectarea obiectului **Dummy06** și activarea **Select Sibling – Next** are ca rezultat selectarea obiectului **Dummy08**;
- selectarea obiectului **Dummy06** și activarea **Select Sibling – Previous** are ca rezultat selectarea obiectului **Dummy02**;

- cu obiectul **Dummy02** selectat, activarea fiecărei comenzi **Select Sibling** are ca rezultat selectarea obiectului **Dummy08**, iar selecția continuă alternând pentru fiecare invocare ulterioară a oricărei comenzi. Acest aspect se datorează faptului că *3ds Max* afișează doar până la următoarea ramură deasupra obiectului selectat, rezultând că obiectele **Dummy 02** și **08** sunt frați cu obiectul **Dummy06**, dar nu și invers.

Definirea unui frate în acest fel are avantajul practic de a permite, de exemplu, parcurgerea selecției tuturor legăturilor degetelor unei mâine de pe o parte a unui personaj, fără ca selecția să sară la cealaltă mână. Dar parcurgerea printre frați cu un obiect de braț selectat are ca rezultat, de obicei, selectarea obiectului brațului opus.

Când se utilizează aceste comenzi, obiectele ascunse și înghețate nu pot fi selectate, dar sunt considerate parte a ierarhiei atunci când se decide ce este și ce nu este un frate. De asemenea, dacă un filtru de selecție este activ, frații care nu îndeplinesc criteriile filtrului nu pot fi selectați. În toate cazurile de acest fel, frații neeligibili sunt ignorați în favoarea unui alt frate, dacă există.

1.4.4. Personalizarea meniului Quad

Meniul *quad* poate fi personalizat astfel încât să afișeze comenzi pentru a selecta copiii, sau ascendenții, sau ambele. Cu ajutorul meniului **Customize**, se selectează **Customize User Interface**. În pagina **Quads**, se trage **Select Ancestor** sau **Select Children** din lista tuturor comenzilor în meniul *quad*. În acest fel se pot selecta cu ușurință copiii sau părinții cu un clic dreapta și apoi un clic.

2. PANOUL DE COMANDĂ HIERARCHY

Odată ce s-a configurat o ierarhie utilizând comanda **Select and Link** sau un sistem precum sistemul **Bones**, aceasta se poate gestiona folosind panoul **Hierarchy**.

Panoul **Hierarchy** are trei pagini, respectiv: **Pivot**, **IK** și **Link**. Pagina **Pivot** este folosită pentru a ajusta punctele pivot ale obiectelor din ierarhie. Pagina **IK** este utilizată pentru a gestiona comportamentul cinematicii inverse (**IK**). Pagina **Link Info** este utilizată pentru a aplica blocări sau moșteniri ale mișcărilor în cadrul unei ierarhii.

2.1. Pagina Pivot

Fiecare obiect are un punct de pivot care reprezintă centrul său local și sistemul local de coordonate, fig. 2.1.

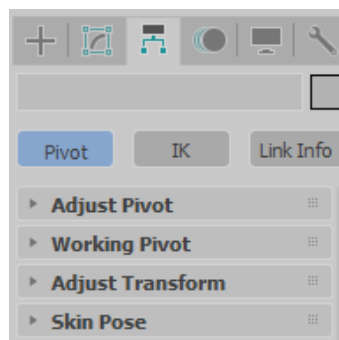


Fig. 2.1. Pagina **Pivot**

Punctul de pivot al unui obiect este utilizat pentru următoarele scopuri:

- funcționează ca centru de rotație și scalare atunci când este utilizat centrul de transformare **Pivot Point**;
- setează locația implicită a centrului unei funcții de modificare;
- definește relația de transformare pentru copiii legați ai obiectului;
- definește locația unei cuple pentru cinematică inversă (**IK**).

Poziția și orientarea punctului pivot al unui obiect pot fi ajustate în orice moment folosind butoanele din caseta derulantă **Adjust Pivot** din panoul de comandă **Hierarchy**. Ajustarea pivotului unui obiect nu are efect asupra niciunui obiect copil conectat la acel obiect.

Observații

Funcțiile din caseta derulantă **Adjust Pivot** nu se pot anima. Ajustarea pivotului unui obiect la orice cadru îl modifică pentru întreaga animație. Din acest motiv este necesară acordarea unei atenții deosebite atunci când se reglează pivotul unui obiect animat. Ajustarea pivotului la un cadru poate produce rezultate neașteptate în altă parte a animației. Dacă este posibil, punctul de pivot trebuie ajustat la locația dorită, înainte de a începe procesul de animație.

De asemenea, se recomandă utilizarea instrumentului **Link constraint** pentru a simula efectul unui pivot animat.

2.1.1. Caseta derulantă **Adjust Pivot**

Poziția și orientarea punctului de pivotare al unui obiect se poate ajusta oricând utilizând instrumentele din caseta derulantă **Adjust Pivot**. Ajustarea pivotului unui obiect nu are efect asupra niciunui copil conectat la acel obiect.

Funcțiile din caseta derulantă **Adjust Pivot** nu pot fi animate. Ajustarea pivotului unui obiect la orice cadru îl modifică pentru întreaga animație [8].

Observație

Este posibilă utilizarea temporară a unui pivot „de lucru” separat, independent în locul pivotului propriu al unui obiect, de exemplu, atunci când se dorește ca obiectul să orbiteze în jurul unui punct central.

Procedură

Pentru a re poziționa punctul de pivot al unui obiect se parcurg etapele:

- se selectează un obiect și apoi se activează panoul de comandă **Hierarchy**, caseta derulantă **Adjust Pivot** și se activează butonul **Affect Pivot Only**;
- folosind butoanele **Move** și **Rotate** din bara de instrumente se deplasează sau se rotește pivotul.

De asemenea, pentru a alinia pivotul se pot utiliza comenzile **Align**, **Quick Align** și **Align to View** din bara de instrumente.

Grupul Move/Rotate/Scale

Fiecare dintre butoanele din caseta grupului **Move/Rotate/Scale** este evidențiat când este activ, fig. 2.2. În acest fel se determină ce parte a obiectului este afectată de cele trei butoane din grupul **Alignment** (prezentat mai jos), precum și de comenzile **Transform** și **Align** din bara de instrumente principală.

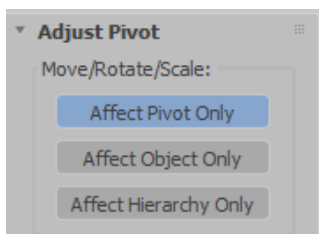


Fig. 2.2. Interfața casetei derulante **Adjust Pivot** – grupul **Move/Rotate/Scale**

Butonul **Affect Pivot Only**

Când butonul **Affect Pivot Only** este activat, transformările afectează numai punctul pivot al obiectelor selectate.

Observație

O transformare **Scale** nu are efect asupra pivotului.

Butonul **Affect Object Only**

Când butonul **Affect Object Only** este activat, transformările afectează numai obiectele selectate (nu și punctul pivot).

Butonul **Affect Hierarchy Only**

Butonul **Affect Hierarchy Only** se aplică numai instrumentelor **Rotation** și **Scale**. Acesta aplică rotația sau scalarea ierarhiei prin rotirea sau scalarea poziției punctului pivot fără a roti sau scala punctul pivot însuși.

Observații

Acest aspect se poate utiliza pe ierarhii de obiecte *3ds Max*, dar se recomandă evitarea utilizării pe sisteme **Bones**.

Este important să se rețină faptul că funcțiile **Align**, **Normal Align** și **Align to View** sunt toate afectate de starea butoanelor **Affect Pivot Only**, **Affect Object Only** și **Affect Hierarchy Only**. Modul **Snap** permite fixarea pivotului la propriul obiect sau la orice alt obiect din scenă.

Grupul **Alignment**

Instrumentele disponibile în acest grup depind de care dintre butoanele **Affect Pivot Only** sau **Affect Object Only** din grupul **Move/Rotate/Scale**

este activ. Instrumentele sunt indisponibile atunci când butonul **Affect Hierarchy Only** este activ.

- Dacă butonul **Affect Pivot Only** este activ, butoanele funcționează după cum urmează, fig. 2.3:
 - ✓ **Butonul Center to Object**
Deplasează pivotul în centrul obiectului său.
 - ✓ **Butonul Align to Object**
Rotește pivotul pentru a se alinia cu axele matricei de transformare ale obiectului.
 - ✓ **Butonul Align to World**
Rotește pivotul pentru a se alinia cu axele de coordonate globale.

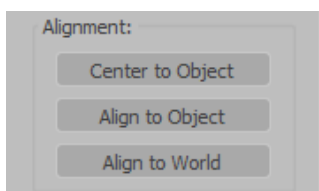


Fig. 2.3. Interfața casetei derulante **Adjust Pivot** – grupul **Alignment**

- Dacă butonul **Affect Object Only** este activ, butoanele funcționează după cum urmează:
 - ✓ **Butonul Center to Pivot**
Deplasează centrul obiectului în locația pivotului său.
 - ✓ **Butonul Align to Pivot**
Rotește obiectul pentru a-și alinia axele la cele ale matricei de transformare cu pivotul.
 - ✓ **Butonul Align to World**
Rotește obiectul pentru a-și alinia axele la cele ale matricei de transformare cu axele de coordonate globale.
- Următoarea comandă este disponibilă numai din meniul **Edit**, sub-meniul **Edit Pivot** și se aplică atât în modul **Affect Pivot Only**, cât și în modul **Affect Object Only**:
 - ✓ **Move Pivot to Origin**
Mută pivotul fiecărui obiect din selecție în centrul sistemului global: poziția (0,0,0).

Grupul Pivot

Interfața grupului **Pivot** este prezentată în fig. 2.4.

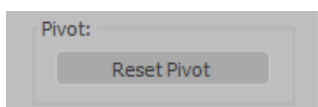


Fig. 2.4. Interfața casetei derulante **Adjust Pivot** – grupul **Pivot**

Butonul **Reset Pivot**

Butonul **Reset Pivot** permite resetarea punctului pivot la poziția și orientarea pe care le-a avut atunci când obiectul a fost creat pentru prima dată. Acest aspect nu este influențat de starea butoanelor **Affect Pivot Only** și **Affect Object Only**.

2.1.2. Caseta derulantă **Working Pivot**

Ca alternativă la pivotul propriu al unui obiect, se poate utiliza pivotul de lucru pentru a aplica transformări oricărui obiect din scenă. Acest lucru permite, de exemplu, rotirea unui obiect în jurul unui punct arbitrar, persistent din scenă, fără a interfera cu pivotul propriu al obiectului [3, 4, 6, 7].

Accesul la caseta derulantă **Working Pivot** se poate realiza printr-una dintre metodele:

- panoul **Hierarchy**, butonul **Pivot**, caseta derulantă **Working Pivot**;
- meniul **Edit**, sub-meniul **Edit Pivot**, comanda **Use Working (W) Pivot**.

Comenzile disponibile ale acestei casete derulante permit poziționarea și orientarea pivotului de lucru folosind instrumente de transformare standard, precum și unele opțiuni speciale și se poate activa în orice moment. De asemenea această casetă poate fi folosită pentru editarea geometriei la nivel de obiect și sub-obiect. De reținut, totuși, că pivotul de lucru nu poate fi folosit ca centru de transformare la crearea unei animații.

Observație

Scena conține un singur pivot de lucru, care este independent de alte elemente ale scenei, cum ar fi geometria.

Mențiune

Majoritatea instrumentelor **Working Pivot** sunt utilizate cel mai bine în alte contexte de lucru decât panoul **Hierarchy**. De exemplu, se poate utiliza în contextul panoului **Modify** în timp ce se editează sub-obiecte de tip *mesh*. Din acest motiv, este foarte recomandată utilizarea acțiunilor categoriei **Customize User Interface** → grupul **Main UI** → **Working Pivot**, pentru a

crea un set de controale care să fie utilizate oriunde în interfața *3ds Max*. De exemplu, se poate crea o bară de instrumente **Working Pivot** personalizată cu butoane care să ofere acces la comenzile **Working Pivot** în timp ce sunt editate obiectele *mesh*.

Alternativ, se poate pur și simplu „trage” panoul **Edit Pivot** din meniul **Edit**, care conține o selecție de instrumente **Working Pivot** utilizate în mod obișnuit.

Procedură

Pentru a utiliza instrumentele **Working Pivot**, se parcurg următoarele etape:

1. se poziționează și orientează pivotul de lucru după cum este necesar:
 - se activează **Edit Working Pivot** și se utilizează instrumentele de transformare standard pentru a poziționa pivotul de lucru sau se utilizează comenzile **Place Pivot To**. La final se confirmă poziția direct în viewport sau se dezactivează **Edit Working Pivot**;
 - se execută clic dreapta în viewport și se selectează **Place Pivot Surface** din meniul *quad*. La final se confirmă poziția direct în viewport sau se dezactivează **Edit Working Pivot**.
2. pivotul de lucru setat curent poate fi utilizat în oricare dintre cele două moduri:
 - se activează **Use Working Pivot** din panoul **Hierarchy** sau controlul personalizat al interfeței (UI);
în mod implicit, astfel se setează centrul geometric pentru transformările de rotire și scalare la **Use Transform Coordinate Center**, adică poziția pivotului de lucru; pentru a specifica un alt centru de transformare, se utilizează butonul derulant **Use Center**.
 - din bara de instrumente principală, lista **Reference Coordinate System** se alegeți **Working**;
în acest fel se păstrează setarea curentă **Use Center**.

Când oricare dintre instrumentele modulare din această casetă derulantă este activ, un mesaj în acest sens apare în fiecare viewport sub numele acestuia. De exemplu, când se activează **Use Working Pivot**, legenda viewport-ului afișează „USE WP”.

Interfața casetei derulante **Working Pivot** este prezentată în fig. 2.5.

Butonul **Edit Working Pivot**

Când acest buton este activat, face pivotul de lucru vizibil în scenă și permite transformarea acestuia.

Când se intră pentru prima dată în modul **Edit Working Pivot**, toate instrumentele de transformare utilizează implicit sistemul de coordonate de referință local. Sistemul de coordonate poate fi schimbat în timp ce se lucrează în acest mod, iar instrumentul amintește sistemul de coordonate de referință pentru fiecare transformare. Schimbarea transformării, de exemplu din **Move** în **Rotate**, reamintește ultimul sistem de coordonate pentru acea transformare în timpul sesiunii curente **Edit Working Pivot**.

Ieșirea din modul **Edit Working Pivot** restaurează ultimul instrument de transformare activ. De exemplu, dacă un obiect este rotit și pivotul de lucru este deplasat iar apoi se părăsește modul **Edit Working Pivot**, instrumentul **Rotate** va fi din nou activ.

Observație

În timp ce butonul **Edit Working Pivot** este activ, selecția curentă este blocată pe pivotul de lucru și nu poate fi modificată fără a ieși din acest mod.

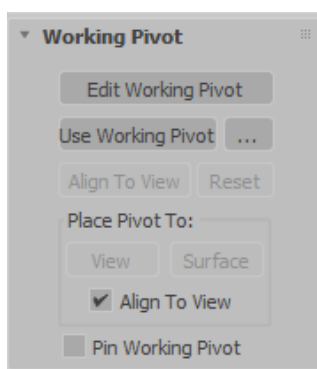


Fig. 2.5. Interfața casetei derulante **Working Pivot**

Butonul Use Working Pivot

Activarea acestui buton permite transformarea selecției curente (obiecte sau sub-obiecte) în raport cu pivotul de lucru. Obiectul *gizmo* de transformare, când este vizibil, se deplasează în locația pivotului de lucru. În acest mod, de obicei, este transformată selecția manipulând mai degrabă obiectul *gizmo* decât selecția. Sistemul de coordonate de referință este schimbat automat în **Working**, în timp ce centrul geometric pentru transformările de rotire și scalare este setat la **Use Transform Coordinate Center** [4, 7].

Acționarea butonului cu trei puncte (...) permite deschiderea casetei de dialog **Configure Working Pivot**.

Acest mod suprascrive spațiul de transformare curent pentru toate transformările. Ieșirea din acest mod restabilește sistemul de coordonate individual pentru fiecare instrument de transformare.

În mod implicit, acest mod setează centrul geometric pentru transformările de rotire și scalare la **Use Transform Coordinate Center**, adică poziția pivotului de lucru. Pentru a specifica un alt centru de transformare, se utilizează butonul derulant **Use Center**.

În timp ce pivotul de lucru este utilizat, se poate activa **Edit Working Pivot**; când se părăsește modul **Edit Working Pivot**, modul **Use Working Pivot** este restabilit.

Butonul **Align To View**

Acest buton permite reorientarea pivotului de lucru astfel încât planul său XY să fie paralel cu planul de vizualizare activ, iar axele X și Y să fie paralele cu marginile viewport-ului. Butonul este disponibil numai în modurile **Edit Working Pivot** și **Use Working Pivot**.

Butonul **Reset**

Butonul **Reset** permite deplasarea pivotului de lucru în locația pivot a obiectului selectat. Dacă sunt mai multe obiecte selectate, pivotul de lucru se deplasează în poziția pivot a ultimului obiect selectat. Cu o selecție de sub-obiect, pivotul de lucru se deplasează în centrul geometric al selecției (poziția medie a sub-obiectelor selectate).

Dacă pivotul de lucru nu apare pe ecran, se utilizează butonul **Reset** pentru a îl muta într-o locație cunoscută.

Grupul **Place Pivot To Group**

Comenzile acestui grup permit poziționarea pivotului de lucru făcând clic pe mouse în loc de instrumentele de transformare. Pentru aceasta, se execută clic pe butonul **View** sau **Surface**, iar apoi se face clic într-un viewport pentru a poziționa pivotul de lucru în acea poziție. Pentru a părăsi acest mod, se execută clic dreapta în viewport-ul activ sau clic din nou pe buton. În acest fel se revine la instrumentul de transformare anterior și la modul pivot de lucru anterior, dacă s-a utilizat unul [4, 7, 8].

Butonul **View**

Permite plasarea pivotului de lucru în spațiul ecranului fără a își modifica adâncimea în ecran. Astfel, plasarea este pe o grilă care este paralelă cu ecranul, intersectând poziția inițială a pivotului.

Butonul **Surface**

Permite plasarea pivotului de lucru pe o suprafață pe care se face clic sau, dacă nu este prezentă nicio suprafață acolo unde se execută clic, pe planul de construcție. Acest lucru funcționează ca **AutoGrid** și se poate vedea obiectul *gizmo* pre-vizualizând alinierea la normala suprafeței în timp ce se deplasează cursorul peste ea. Executând clic, pivotul se plasează la suprafață și este aliniat la normală (cu excepția cazului în care este activată caseta de validare **Align To View**).

Caseta de validare **Align To View**

Când caseta de validare este activată, permite alinierea automată a pivotului de lucru la vederea curentă atunci când acesta este plasat cu butonul **View** sau **Surface**. Această opțiune de lucru este utilă pentru pregătirea transformărilor în planul ecranului. Valoarea implicită este activat (*On*). Comenzile panoului **Edit Pivot**, **Place W Pivot In View** și **Place W Pivot On Surface** dezactivează în mod automat opțiunea **Align To View**, iar **Place W Pivot In View And Align** și **Place W Pivot On Surface And Align** o activează.

Caseta de validare **Pin Working Pivot**

Când această casetă de validare este activată, pivotul de lucru nu se modifică la acționarea butonului **Edit Working Pivot**. Când opțiunea este dezactivată, pivotul de lucru este resetat, la acționarea butonului **Edit Working Pivot** având un obiect diferit selectat.

2.1.3. Caseta derulantă **Adjust Transform**

Un obiect și pivotul acestuia pot fi transformate fără a îi afecta copiii folosind butoanele casetei derulante **Adjust Transform**. Ajustarea transformărilor unui obiect nu are efect asupra oricărui copil legat la acel obiect.

Accesul la comenzile casetei derulante **Adjust Transform** se obține în urma realizării unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy**, executarea unui clic pe butonul **Pivot** (sub-panoul **Pivot**) iar apoi deschiderea casetei derulante.

Proceduri

Pentru a scala un părinte fără a scala copiii:

1. se selectează obiectul părinte dintr-o ierarhie;

2. în panoul **Hierarchy**, se execută clic pe butonul **Pivot** dacă nu este deja activat, apoi în caseta derulantă **Adjust Transform**, se execută clic pe **Don't Affect Children**;
3. se scalează obiectul părinte.
Copiii vor rămâne neafecțați.

Observație

Nu se recomandă utilizarea scalării neuniforme la nivel de obiect pentru obiectele dintr-un lanț ierarhic. Atunci când se aplică o scară neuniformă pe obiecte legate ierarhic se lucrează întotdeauna la nivelul de sub-obiect.

Pentru a reinițializa scara unui obiect:

1. se selectează un obiect;
2. în panoul **Hierarchy**, caseta derulantă **Adjust Transform**, grupul **Reset**, se execută clic pe **Scale**.

Valorile XYZ sunt reinițializate la 100%. Această operație previne moștenirea la scară neuniformă dacă un obiect copil este legat de acest obiect.

Interfața casetei derulante **Adjust Transform** este prezentată în fig.

2.6.

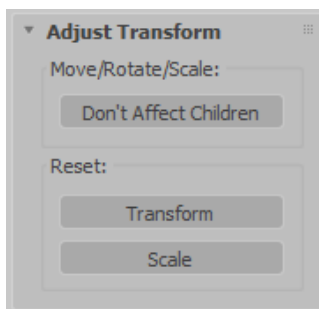


Fig. 2.6. Interfața casetei derulante **Adjust Transform**

Grupul Move/Rotate/Scale

Butonul Don't Affect Children

Acest buton permite limitarea transformărilor la obiectul selectat și la axa acestuia, nu la copiii săi. Acest aspect este foarte util atunci când se lucrează cu sisteme de schelele și alte ierarhii. Dacă trebuie realizat un os special (un element al scheletului) sau un obiect mai lung sau mai scurt, se selectează obiectul și apoi se activează **Don't Affect Children**. Se poate aplica reajustarea iar orice obiect părinte din ierarhie se va întinde sau se va micșora pentru a compensa noua dimensiune a osului selectat [4, 7, 8].

Grupul Reset

Butonul Transform

Acest buton permite resetarea orientării coordonatelor axelor locale ale unui obiect pentru a se alinia cu sistemul de coordonate global, indiferent de orientarea curentă a obiectului.

Acest aspect nu afectează descendenții.

Când se aplică la grupurilor închise, această comandă aliniază nodul fals al părintelui, dar îi menține pe descendenți în același loc. Reorientează și redimensionează nodul *dummy* pentru a lega corect copiii grupului.

Butonul Scale

Resetează valorile scării din matricea de transformare pentru a reflecta noua scară a obiectului. Nu există nicio modificare vizuală a obiectului.

Comanda **Scale** poate fi utilizată pentru a corecta problemele de moștenire ale scării neuniforme (**Non Uniform Scale**). Dacă **Non Uniform Scale** este moștenită de un obiect copil dintr-o ierarhie, poate avea ca rezultat o deformare nedorită a obiectului copil. Pentru a corecta acest lucru, se utilizează **Reset: Scale** din caseta derulantă **Adjust Transform** pe un obiect înainte de legare.

Valorile de scară ale matricei de transformare ale unui obiect selectat pot fi vizualizate. Pe bara de instrumente, se activează **Scale**, apoi se execută clic dreapta pe oricare dintre cele trei butoane **Transform** din bara de instrumente (**Move**, **Rotate** sau **Scale**).

2.1.4. Caseta derulantă Skin Pose

Comenzile casetei derulante **Skin Pose** funcționează ca un sistem de copiere/inserare (*copy/paste*) pentru configurarea animației personajelor.

Accesul la comenzile **Skin Pose** se obține realizând o selecție, se alege panoul **Hierarchy**, se execută clic pe butonul **Pivot** iar apoi se deschide caseta derulantă **Skin Pose**.

Interfața casetei derulante **Skin Pose** este prezentată în fig. 2.7.

Skin Pose Mode

Poziționează un personaj în poziția pielii și permite ca poziția pielii să fie rafinată. Modificările aduse obiectelor atunci când **Skin Pose Mode** este activat afectează numai poziția pielii, nu și animația. Când **Skin Pose Mode** este dezactivat, structura revine la poziția sa la cadrul curent [3, 6].

Această casetă de validare este disponibilă numai după ce au fost folosite comenzi **Set As Skin Pose** pe un obiect.

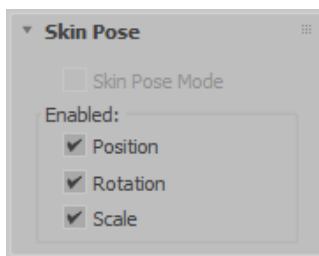


Fig. 2.7. Interfața casetei derulante **Skin Pose**

Grupul Enabled

Permite comutarea casetelor de validare **Position**, **Rotation** și **Scale** pentru a activa și dezactiva înregistrarea transformărilor corespunzătoare atunci când **Skin Pose Mode** este activ.

2.2. Pagina IK

Casetele derulante **IK** conțin comenzi pentru cinematica inversă (**IK**) interactivă și comenzi ale instrumentului **HD IK**.

Accesul la instrumentele **IK** se obține după realizarea unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy** și executând clic pe butonul **IK**.

Interfața paginii **IK** este prezentată în fig. 2.8.

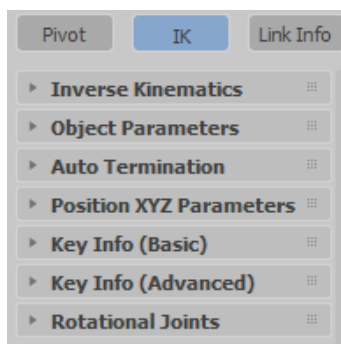


Fig. 2.8. Interfața panoului **IK**

Casetele derulante ale panoului **IK** sunt:

- ✓ **Inverse Kinematics** (**Interactive**, **Applied**, și **HD IK**);

- ✓ **Object Parameters** (instrumentul **HD Solver**);
- ✓ **Auto Termination (Interactive IK)**;
- ✓ **Position XYZ Parameters**;
- ✓ **Key Info (Basic)**;
- ✓ **Key Info (Advanced)**;
- ✓ **Rotational Joints** (caracteristic instrumentului **HD Solver**).

Observație

Casetele derulante pentru instrumentele **HI IK** și **IK Limb** nu sunt disponibile în timp ce **IK** este selectat în panoul **Hierarchy**. Cele mai multe comenzi pentru aceste soluții se găsesc în panoul **Motion**.

2.2.1. Casetele derulante ale instrumentului HD IK Solver

Casetele derulante ale instrumentului **HD IK Solver** apar în panoul **Hierarchy**.

2.2.1.1. Caseta Object Parameters (HD Solver)

Caseta derulantă **Object Parameters** permite setarea parametrilor **IK** pentru un întreg lanț ierarhic [3, 8].

Accesul la comenzile acestei casete derulante se obține în urma realizării unei selecții în scenă, selectarea panoului **Hierarchy**, a sub-panoului **IK** iar apoi a casetei derulante **Object Parameters**.

Acest subcapitol tratează doar caseta de validare **Terminator**; alți parametri ai casetei derulante **Object Parameters** sunt tratați în următoarele subcapitole, respectiv subcapitolele 2.2.1.2. Position/Orientation/Bind to Follow Object (HD Solver), 2.2.1.3. Precedența – Parametrul Precedence (HD Solver), 2.2.1.4. Copierea, lipirea și oglindirea parametrilor unei articulații (HD Solver), 2.2.1.5. Cuple de rotație și de translație – Grupurile Sliding Joints și Rotational Joints (HD Solver).

Procedură

1. se selectează un obiect din orice ierarhie sau lanț **HD IK** care se dorește să fie terminator;
2. în panoul **Hierarchy**, caseta derulantă **Object Parameters**, se activează caseta de validare **Terminator**, fig. 2.9.

Obiectele terminator nu se vor mișca atunci când este utilizată animația interactivă (**Interactive**), aplicată (**Applied**) sau **HD IK**.



Fig. 2.9. Caseta de validare **Terminator**

Caseta de validare **Terminator**

Această casetă de validare permite setarea bazei unui lanț **IK** prin definirea unuia sau mai multor obiecte selectate ca terminatori.

Pentru a opri calculul lanțului cinematic înainte ca acesta să ajungă la obiectul rădăcină al ierarhiei se activează **Terminator**. Un obiect terminator oprește calculul la obiectul fiu al terminatorului; terminatorul în sine nu este afectat de soluția **IK**. Acest lucru oferă un control foarte precis asupra comportamentului lanțului cinematic.

2.2.1.2. **Position/Orientation/Bind to Follow Object (HD Solver)**

Pentru a lega obiectele dintr-un lanț **HD IK** de sistemul global (*world*) sau pentru a urmări obiecte se utilizează comenzile din casetele de grupare **Position/Orientation/Bind to Follow Object**. Pentru a modifica comportamentul legăturilor se utilizează diferitele opțiuni.

Accesul la aceste comenzi se obține după realizarea unei selecții cu instrumentul **HD Solver** aplicat, selectarea panoului **Hierarchy** și a sub-panoului **IK**, deschiderea casetei derulante **Object Parameters** iar în final a grupurilor **Position/Orientation/Bind to Follow Object**.

Pentru a crea ponderi diferite pentru fiecare legare și pentru a specifica pe care dintre axe legătura urmărește influențele obiectului, se utilizează comenzi de legare ponderate și specifice axei. Pentru a stabili o compensare relativă cu **Bind Position** și **Bind Orientation** se utilizează butoanele **R** (*Relative*).

Legarea unui obiect de sistemul universal (World)

Dacă se dorește ca obiectul să își mențină poziția și orientarea cât mai mult posibil în timpul operațiunilor **IK**, legarea acestuia se realizează la sistemul global (*world*).

Legarea unui obiect la un obiect urmărit

Legarea se poate realiza și între un obiect selectat din lanțul **IK** de orice alt obiect care nu este un descendent al obiectului selectat. Acest alt obiect se numește obiect urmărit.

Proceduri

Pentru a lega un obiect la sistemul global:

1. se selectează obiectul de legat;
2. în panoul **Hierarchy** se execută clic pe **IK** și se extinde caseta derulantă **Object Parameters**;
3. se selectează una sau ambele casete **Bind**:
 - se activează **Bind Position** pentru a determina obiectul să încerce să-și mențină locația curentă;
 - se activează **Bind Orientation** pentru a determina obiectul să încerce să-și mențină orientarea curentă.

Pentru a lega un obiect la un obiect urmărit

1. se activează **Bind** și se selectează obiectul din lanțul cinematic care urmează să fie legat;
deplasarea mouse-ului peste o țintă acceptată va schimba cursorul într-o pictogramă *push-pin*;
2. se trage peste obiectul de urmărit și se eliberează;
3. se activează **Bind Orientation** dacă se dorește ca obiectul legat să se potrivească cu rotația obiectului urmărit; opțiunea **Bind Position** este selectată în mod automat;
se dezactivează o axă (**Axis: XYZ**); axa specificată nu mai este influențată de obiectul urmărit sau de efectorul final **New IK Position**;
se utilizează parametrul **Weight** pentru a seta influența relativă a mai multor obiecte urmărite sau a obiectelor efector finale și, prin urmare, prioritatea acestora în rezolvarea soluției **IK**; cu cât valoarea relativă a parametrului **Weight** este mai mare, cu atât prioritatea este mai mare.

Observație

În procesul de legare, pe măsură ce mouse-ul se trage, este trasată o linie punctată de la punctul pivot al obiectului selectat la cursor. Când cursorul se află peste un obiect de urmărire valid, se transformă într-un cursor *push-pin*. Pentru a seta obiectul urmărit se eliberează mouse-ul. Numele obiectului urmărit va apărea în zona de text.

Pentru a dezlega un obiect:

- se selectează obiectul de dezlegat, apoi se execută clic pe butonul **Unbind**;
în zona de text, numele obiectului urmărit este înlocuit cu cuvântul **”None”**.

Interfața casetei derulante **Object Parameter** este prezentată în fig. 2.10.

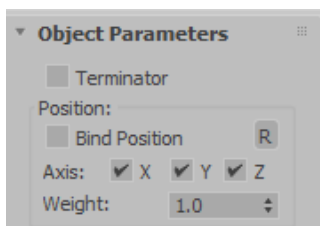


Fig. 2.10. Caseta derulantă **Object Parameter** (grupul **Position**)

Caseta de validare Terminator

Activarea acestei caseta de validare face obiectul selectat să încheie lanțul **IK**.

Grupul Position

Caseta de validare Bind Position

Această casetă de validare permite legarea obiectului selectat din lanțul **IK** de sistemul global (încercând să-i mențină locația) sau de un obiect de urmărit, dacă a fost alocat unul. Dacă a fost atribuit un obiect de urmărire, atunci translația obiectului urmărit afectează soluția **IK**.

Observație

Această casetă de validare nu are niciun efect asupra obiectelor efector terminale **HD IK Solver Position**, care sunt întotdeauna legate de îmbinările lor alocate.

Casetele de validare Axis X/Y/Z

Dacă una dintre axe este dezactivată, axa specificată nu mai este influențată de obiectul urmărit sau de efectorul final **HD IK Solver Position**. De exemplu, dacă se dezactivează axa **X** din grupul **Position**, mișcarea obiectului de urmărire (sau a efectorului final) de-a lungul axei **X** nu are niciun efect asupra soluției **IK**, dar mișcarea de-a lungul axei **Y** sau **Z** are.

Observație

Aceste opțiuni nu constrâng mișcarea obiectului de urmărit sau a efectorului final.

Parametrul **Weight**

Acest parametru permite setarea influenței obiectului de urmărire (sau a efectorului final) asupra obiectului alocat și asupra restului de lanț. O setare de valoare 0 dezactivează legarea. Folosind această valoare, se poate seta influența relativă a mai multor obiecte de urmărire sau a obiectelor efector finale și prioritatea acestora în rezolvarea soluției **IK**. Cu cât valoarea relativă a parametrului **Weight** este mai mare, cu atât prioritatea este mai mare.

Setările **Weight** sunt relative; nu are rost folosirea acestora dacă există un singur obiect de urmărire sau un efector final în ierarhia **IK** creată.

Cu toate acestea, dacă există un singur lanț **HD IK** cu efectori terminali de poziție și rotație (**Position** și **Rotation**) pe o singură îmbinare, li se pot acorda ponderi (priorități) diferite pentru a acorda prioritate fie soluției de poziție, fie celei de rotație.

Parametrul **Weight** poate fi ajustat pentru mai multe articulații. Dacă se selectează două sau mai multe obiecte din ierarhie, valoarea **Weight** reprezintă caracterul comun al setului de selecție.

Observație

Diferențele dintre valorile **Weight** au efect numai atunci când nu există o soluție care să satisfacă doi sau mai mulți efectori terminali opuși din lanț. În acest caz, efectorul final cu cea mai mare pondere ”câștigă”.

Grupul **Orientation**

Interfața casetei derulante **Object Parameter**, grupul **Orientation** este prezentată în fig. 2.11.

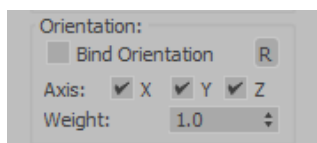


Fig. 2.11. Casetă derulantă **Object Parameter** (grupul **Orientation**)

Casetă de validare **Bind Orientation**

Această casetă de validare permite legarea obiectului selectat din ierarhie de sistemul global (încercând să își mențină orientarea) sau de un obiect de urmărit, dacă a fost alocat unul. Dacă a fost alocat un obiect de urmărire, atunci rotația obiectului de urmărire afectează soluția **IK**.

Observație

Această casetă de validare nu are niciun efect asupra obiectelor efector

finale **HD IK Solver Rotation**, care sunt întotdeauna legate de îmbinările lor alocate.

Butonul **R**

Acest buton permite stabilirea unui decalaj de poziție relativă sau un decalaj de rotație între obiectul urmărit și efectorul final.

Acest buton nu are niciun efect asupra obiectelor efector finale **HD IK Solver Position**. Ele sunt create deasupra îmbinării căreia sunt alocate și sunt în mod automat absolute.

Dacă se deplasează îmbinarea departe de efectorul final și se dorește resetarea efectorului final la o poziție absolută, se poate șterge și apoi recrea efectorul final.

Casetele de validare **Axis X/Y/Z**

Dacă una dintre axe este dezactivată, axa specificată nu mai este influențată de obiectul urmărit sau de efectorul final de poziție **HD IK Solver Position**.

De exemplu, dacă se dezactivează axa **X** în grupul **Orientation**, rotirea obiectului urmărit (sau a efectorului final) după axa **X** nu are efect asupra soluției **IK**, dar mișcarea de-a lungul axei **Y** sau **Z** are efect.

Observație

Acestea opțiuni nu constrâng mișcarea obiectului de urmărire sau a efectorului final.

Parametrul **Weight**

Acest parametru setează influența obiectului de urmărire (sau a efectorului final) asupra obiectului alocat și asupra restului lanțului. O setare la valoarea *0* dezactivează legarea. Folosind această valoare, este posibilă setarea influenței relative a mai multor obiecte de urmărire sau a obiectelor efector finale și prioritatea acestora în rezolvarea soluției **IK**. Cu cât valoarea relativă a parametrului **Weight** este mai mare, cu atât prioritatea este mai mare.

Setările **Weight** sunt relative; nu are rost ca acestea să fie folosite dacă există un singur obiect de urmărire sau un efector final în ierarhia **IK**.

Cu toate acestea, dacă există un singur lanț **HD IK** cu efectori terminali de poziție și rotație (**Position** și **Rotation**) pe o singură îmbinare, li se pot acorda ponderi diferite pentru a acorda prioritate fie soluției de poziție, fie celei de rotație.

De asemenea, este posibilă ajustarea parametrului **Weight** pentru mai multe articulații. La selectarea a două sau mai multe obiecte din ierarhie,

valoarea **Weight** reprezintă caracteristica comună a setului de selecție.

Observație

Diferențele dintre valorile **Weight** au efect numai atunci când nu există o soluție care să satisfacă doi sau mai mulți efectori terminali opuși din lanț. În acest caz, efectorul final cu cea mai mare pondere (prioritate) ”câștigă”.

Grupul Bind To Follow Object

Interfața grupului **Bind To Follow Object** este prezentată în fig. 2.12. Acest grup conține comenzi pentru legarea și dezlegarea unui obiect dintr-un lanț cinematic invers de un obiect de urmărit.

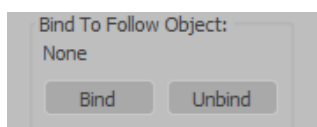


Fig. 2.12. Caseta derulantă **Object Parameter** (grupul **Bind To Follow Object**)

Eticheta [label]

Eticheta afișează numele obiectului urmărit selectat. Cuvântul ”None” este afișat dacă nu este setat niciun obiect de urmărire.

Butonul Bind

Acest buton permite legarea unui obiect dintr-un lanț cinematic invers de un obiect de urmărit.

Butonul Unbind

Acest buton permite dezlegarea obiectului selectat dintr-un lanț **HD IK** de obiectul urmărit.

2.2.1.3. Precedența – parametrul Precedence (HD Solver)

Pentru a modifica modul în care este calculată soluția **IK** este posibilă utilizarea a trei comenzi de precedență a îmbinărilor [4, 7, 8].

Accesul la acest parametru se obține în urma realizării unei selecții având aplicat instrumentul **HD IK Solver**, selectarea panoului **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Object Parameters** iar în final **Precedence**.

Valoarea implicită a precedenței unei îmbinării este 0. Aceasta reprezintă valoarea potrivită pentru multe soluții **IK**. Se presupune că articulațiile cele mai apropiate de locul în care se aplică o forță (efectorul final) se vor deplasa mai mult decât articulațiile aflate mai departe de forță.

Situația Copil→Părinte, **Child→Parent**

Valorile sunt calculate presupunând că rădăcina întregii ierarhii are o valoare de precedență de 0 și fiecare copil are o valoare egală cu de 10 ori adâncimea sa de la rădăcină. Într-o ierarhie cu patru obiecte care începe cu rădăcina, valorile ar fi 0, 10, 20 și 30.

Situația Părinte→Copil, **Child→Parent**

Valorile sunt calculate presupunând că rădăcina întregii ierarhii are o valoare de precedență de 0 și fiecare copil are o valoare egală cu de 10 ori adâncimea sa de la rădăcină. Într-o ierarhie cu patru obiecte care începe cu rădăcina, valorile ar fi 0, -10, -20 și -30.

- Precedența implicită a îmbinării apare ori de câte ori toate îmbinările din lanțul cinematic au aceeași valoare de precedență. Atribuirea unei valori de 100 tuturor obiectelor din lanțul cinematic are exact același efect cu alocarea unei valori de 0.
- Un lanț **IK** de trei obiecte cu valori ale precedenței de 0, 30 și 200 are aceeași soluție ca dacă precedența ar fi schimbată la valorile 1, 2 și 3.

Proceduri

Pentru a atribui manual o valoare de prioritate unui obiect se parcurg următoarele etape:

1. se selectează un obiect dintr-un lanț **HD IK**;
2. din panoul **Hierarchy** se deschide caseta derulantă **Object Parameters**;
3. se introduce o valoare în câmpul **Precedence**.

Pentru a atribui prioritate Copil→Părinte (**Child→Parent**) tuturor obiectelor dintr-un lanț cinematic:

1. se selectează toate obiectele dintr-un lanț **HD IK**;
2. cu ajutorul panoului **Hierarchy** se deschide caseta derulantă **Object Parameters**;
3. se execută clic pe **Child→Parent**.

Pentru a atribui prioritate Părinte→Copil (**Parent→Child**) tuturor obiectelor dintr-un lanț cinematic:

1. se selectează toate obiectele din lanțul cinematic;
2. cu ajutorul panoului **Hierarchy** se deschide caseta derulantă **Object Parameters**;
3. se execută clic pe **Parent→Child**.

Pentru a reseta prioritatea implicită a articulațiilor:

1. se selectează toate obiectele din lanțul cinematic;
2. din panoul **Hierarchy** se deschide caseta derulantă **Object Parameters**;
3. se setează valoarea din câmpul **Precedence** la 0.

Interfața pentru setarea parametrilor de precedență este prezentată în fig. 2.13.

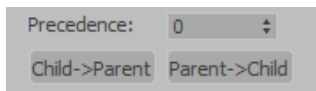


Fig. 2.13. Setarea parametrilor corespunzători precedenței

Stabilirea priorității (precedenței) se realizează cu ajutorul a trei comenzi descrise mai jos.

Câmpul **Precedence**

Permite atribuirea manuală a valori de prioritate oricărui obiect din lanțul **IK**. Valorile cu prioritate (precedență) mare sunt calculate înaintea valorilor cu prioritate scăzută. Valorile de prioritate care sunt egale sunt calculate în ordinea Copil→Părinte (**Child→Parent**).

Butonul **Child→Parent**

Setează în mod automat prioritatea unei articulații pentru a scădea în valoare de la copil la părinte. Determină articulațiile cele mai apropiate de locul în care se aplică o forță (efectorul final) să se miște mai mult decât articulațiile aflate mai departe de forță.

De regulă (aproape întotdeauna) se atribuie prioritatea **Child→Parent** unui întreg lanț cinematic.

Acțiunea **Child→Parent** produce un comportament asemănător cu cel al setărilor implicite de precedență, dar este mai flexibil dacă se dorește revenirea și modificarea în mod manual a setărilor.

Butonul **Parent→Child**

Permite setarea în mod automat a priorității unei articulații pentru a scădea valoarea de la părinte la copil. Determină articulațiile cele mai apropiate de locul în care se aplică o forță (efectorul final) să se miște mai puțin decât articulațiile mai îndepărtate de forță.

2.2.1.4. Copierea, lipirea și oglindirea parametrilor unei articulații (HD Solver)

Pentru a copia și insera (lipi) setările unei cuple între controlerele **IK** se utilizează butoanele **Copy** și **Paste** din caseta derulantă **Object Parameters**. De asemenea, se pot copia setările unei articulații de la un controler non-**IK** într-un controler **IK**, dar nu pot fi copiate de la un controler **IK** la un controler

non-**IK**. Cu o ierarhie de tip **HD IK Solver**, este posibilă inserarea (lipirea) într-o selecție multiplă de articulații.

Accesul la comenzile **Copy**, **Paste** se obține în urma realizării unei selecții, deschiderii panoului **Hierarchy**, panoul **IK**, caseta derulantă **Object Parameters** iar în final se aplică comenzile de copiere și inserare a parametrilor articulației.

Pentru a oglindi setările unei articulații **IK** despre axele *X*, *Y* sau *Z* în timpul unei operațiuni de inserare (comanda **Paste**) se utilizează grupul **Mirror Paste**. Acest grup constă din patru butoane radio: câte unul pentru axele **X**, **Y** și **Z** și o opțiune **None** care împiedică complet oglindirea.

De asemenea, oglindirea articulațiilor **IK** este posibilă folosind instrumentul **Mirror** din bara principală de instrumente.

Procedură

Pentru a copia și insera parametri unei cuple se parcurg următoarele etape:

1. se selectează un obiect dintr-un lanț cinematic invers;
2. se setează parametrii articulației de alunecare (translație) sau de rotație;
3. se execută clic pe butonul **Copy** fie în grupul **Sliding Joints** fie în grupul **Rotational Joints** din caseta derulantă **Object Parameters**;
4. se selectează un obiect diferit din lanțul cinematic invers;
5. se selectează o axă pentru oglindire în grupul **Mirror Paste**;
6. se execută clic pe butonul **Paste** din grupul **Sliding Joints** sau grupul **Rotational Joints** al casetei derulante **Object Parameters**;
7. atât articulațiile de translație (**Sliding Joints**), cât și articulațiile de rotație (**Rotational Joints**) mențin *clipboard*-uri separate. Parametrii copiați ai articulației sunt salvați în *clipboard* până când aceștia sunt înlocuiți cu parametri copiați noi.

Interfețele grupurilor **Sliding Joints**, **Rotational Joints** și **Mirror Paste** sunt prezentate în fig. 2.14.

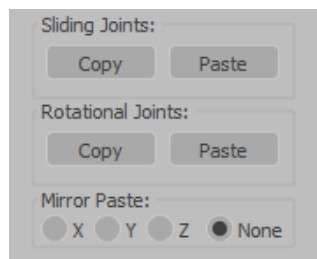


Fig. 2.14. Grupurile **Sliding Joints**, **Rotational Joints** și **Mirror Paste**

Grupul **Sliding Joints**

Butoanele din acest grup permit copierea parametrilor cuplelor de translație de la un obiect la altul. Aceste butoane nu sunt disponibile pentru cuple de tip **Path**.

Grupul **Rotational Joints**

Pentru a copia parametrii articulațiilor de rotație de la un obiect la altul se utilizează butoanele grupului **Rotational Joints**.

Grupul **Mirror Paste**

Butoanele radio ale acestui grup permit oglindirea setărilor unei articulații **IK** după axa X , Y sau Z în timpul unei operațiuni de inserare.

2.2.1.5. Cuple de rotație și de translație – Grupurile **Sliding Joints** și **Rotational Joints (HD Solver)**

În cinematica inversă, articulațiile funcționează permițând mișcarea pe una sau mai multe axe și restricționând mișcarea pe axele rămase. Setarea dacă un obiect se poate mișca (aluneca, translata) după o axă, sau se poate roti în jurul unei axe date, se realizează cu ajutorul casetei de validare **Active** din casetele derulante alte articulației. Articulațiile au maximum șase axe posibile (șase grade de libertate): trei pentru poziție și trei pentru rotație. Restricționarea mișcării unei articulații se realizează prin stabilirea axelor active.

Accesul la axele cuplelor de translație și a celor de rotație se obține după realizarea unei selecții, selectarea panoului **Hierarchy**, a sub-panoului **IK**, și în final a casetelor derulante **Sliding Joints** respectiv **Rotational Joints**.

Setarea axelor unei articulații **IK** suprascrie orice setări **Inherit** și **Lock** din sub-panoul **Link Info**.

Proceduri

Activarea sau dezactivarea unei axe se realizează parcurgând etapele de mai jos:

1. se selectează un obiect;
2. în panoul **Hierarchy** se selectează sub-panoul **IK**;
3. se extinde caseta derulantă pentru un tip articulație;
4. se activează caseta de validare **Active** pentru orice axă disponibilă;
 - când caseta de validare este activată (*on*), axa este activă iar obiectul se poate mișca sau se poate roti în jurul acelei axe;

- când caseta de validare este dezactivată (*off*), axa este inactivă și obiectul nu se poate mișca sau roti în jurul acelei axe.

Pentru a limita o articulație se parcurg etapele descrise mai jos:

1. se selectează un obiect;
2. în panoul **Hierarchy** se selectează sub-panoul **IK**;
3. se activează caseta de validare **Limited** pentru orice axă activă; dacă o axă este inactivă, setările limitelor sunt ignorate;
 - când caseta de validare este activată (*on*), axa este limitată, iar obiectul se poate mișca sau se poate roti în interiorul intervalului stabilit de câmpurile **From** și **To**;
 - când caseta de validare este dezactivată (*off*), axa nu este limitată, iar obiectul se mișcă sau se rotește liber în jurul acelei axe; dacă se activează **Limited**, se specifică valori limită în câmpurile **From** și **To**; la stabilirea limitelor, obiectul primește funcțiile de transformare ale poziției sau rotației definite de câmpul **From** sau **To**; la părăsirea câmpului sau eliberarea butonului sus-jos al acestuia, obiectul revine la poziția inițială; de asemenea, limitele articulațiilor pot fi vizualizate în viewport apăsând și menținând apăsat butonul mouse-ului pe eticheta **From** sau **To** a unui câmp de limită; obiectul se va muta sau se va roti la valoarea limită până când se eliberează butonul mouse-ului.

Interfața grupurilor **Sliding Joints** și **Rotational Joints** sunt prezentate în fig. 2.15.

Casetele derulante **Sliding Joints** și **Rotational Joints** conțin comenzi similare pentru poziție și, respectiv, rotație. De asemenea, fiecare casetă derulantă conține casete de grup identice pentru controlul axelor X, Y și Z.

Grupurile X/Y/Z Axis

Caseta de validare **Active**

Aceste casete de validare permit activarea unei axe (X/Y/Z), respectiv permit obiectului selectat să alunece sau să se rotească în jurul axei activate.

De asemenea, caseta de validare **Active** permite limitarea intervalului de mișcare sau de rotație permis pe o axă activă. Această casetă de validare se utilizează împreună cu câmpurile **From** și **To**. Majoritatea articulațiilor sunt limitate în domeniul lor de mișcare de-a lungul unei axe active. De exemplu, un piston alunecă (se translatează) numai pe lungimea cilindrului său.

Caseta de validare **Ease**

Determină o articulație să reziste (să se opună) mișcării pe măsură ce se apropie de limitele sale **From** și **To**. În acest fel se poate simula o articulație organică sau o articulație mecanică uzată, care se mișcă sau se rotește liber în mijlocul intervalului său de mișcare, dar se mișcă mai puțin liber la extremele intervalului său.

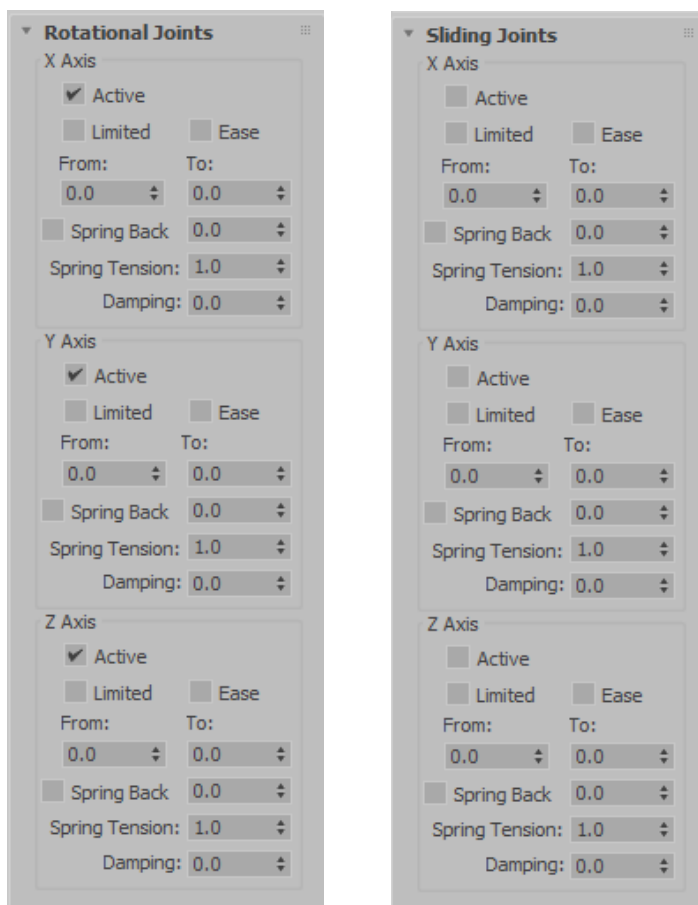


Fig. 2.15. Grupurile **Rotational Joints** și **Sliding Joints**

Câmpurile *spinner* **From** și **To**

Aceste câmpuri determină limitele pentru poziție și pentru rotație. Acestea se utilizează împreună cu funcția **Limited**.

Caseta de validare **Spring Back**

Caseta de validare permite activarea parametrului **Spring Back**. Se are în vedere faptul că fiecare articulație are o poziție de repaus. Pe măsură ce articulația se deplasează mai departe de poziția de repaus, o forță din ce în ce

mai mare readuce articulația înapoi în poziția de repaus, ca un arc.

Câmpul *spinner* **Spring Back**

Permite setarea poziției de repaus pentru articulație. Pentru articulațiile de rotație, aceasta reprezintă orientarea articulației în grade; pentru îmbinări culisante (de translație), aceasta reprezintă poziția în unități. Ajustarea acesteia este similară cu reglarea câmpurilor *spinner* **From/To**. Orientarea/poziția poate fi vizualizată în timp ce se efectuează reglarea, dar când se eliberează *spinner*-ul, obiectul revine la starea anterioară.

La utilizarea instrumentului **HD Solver** este necesară activarea casetei de validare **Show Initial State** (panoul **Motion**, caseta derulantă **IK Controller Parameters**) pentru a vedea efectul asupra geometriei în timpul ajustării.

Parametrul **Spring Tension**

Acest parametru stabilește puterea ”arcului”. Valorile mai mari fac ca arcul să tragă mai tare pe măsură ce articulația se deplasează mai departe de poziția de repaus. O setare la valoarea 0 oprește arcul; setările la valori foarte mari pot transforma articulația într-o limită, deoarece se poate ajunge la punctul în care arcul este prea puternic pentru a permite articulației să treacă peste un anumit punct.

Parametrul **Damping**

Acest parametru permite aplicarea unei rezistențe pe întregul domeniu de mișcare sau rotație a unei articulații. Simulează efectul natural al frecării sau inerției articulațiilor. Pe măsură ce o articulație se corodează, se usucă sau este supusă unei sarcini grele, aceasta se opune mișcării de-a lungul axelor sale active.

2.2.2. Casetele derulante **Interactive** și **Applied IK**

Casetele derulante **Interactive** și **Applied IK** sunt disponibile în panoul **Hierarchy**.

2.2.2.1. Caseta derulantă **Inverse Kinematics**

Caseta derulantă **Inverse Kinematics** afișează diferite comenzi bazate instrumente **IK Solvers** aplicate unei ierarhi selectate. Soluțiile **IK** sunt aplicate ierarhiilor folosind meniul **Animation**.

Accesul la aceste comenzi se obține în urma realizării unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy**, a sub-panoului **IK** și în final a casetei derulantă **Inverse Kinematics**.

Când un instrument **HD IK Solver** este aplicat unui lanț **IK**, caseta derulantă **Inverse Kinematics** afișează comenzile descrise în această secțiune.

Caseta derulantă **Inverse Kinematics** oferă comenzile pentru **IK** interactiv și aplicat, precum și comenzi pentru **HD Solver** (*history dependent* – dependent istoric). Pentru a calcula o soluție **IK** și pentru a genera chei de transformare (deplasare, rotire) pentru toate obiectele dintr-un lanț **IK** (lanțul **IK** trebuie să includă un obiect de urmărit) se utilizează butonul **Apply IK**. În mod implicit, cheile sunt create la fiecare cadru.

- **IK** aplicat necesită ca una sau mai multe părți ale structurii **IK** să fie legate la obiecte animate de urmărit. Odată realizată această legătură, se poate selecta orice obiect din lanțul cinematic și se execută clic pe butonul **Apply IK**.
- Metoda de animație **Apply IK** funcționează cel mai bine atunci când se dorește ca obiectele din lanțul cinematic să se potrivească exact cu mișcările altor obiecte. Un exemplu în acest sens ar fi o conexiune mecanică care ar trebui să pară întotdeauna atașată la obiectul urmărit.

Proceduri

Pentru a utiliza **IK** interactiv se parcurg următoarele etape:

1. se construiește o ierarhie de obiecte;
dacă se dorește utilizarea sistemelor **Bones**, se verifică ca opțiunea **Assign to Children** să nu fie activă atunci când se creează sistemul **Bones**;
2. se selectează sfârșitul lanțului;
3. se accesează butonul **IK** din panoul **Hierarchy**;
4. se derulează în sus până la caseta derulantă **Inverse Kinematics**;
5. se acționează butonul **Interactive IK**;
6. se avansează cursorul de timp și se deplasează capătul lanțului;
7. se dezactivează butonul **Interactive IK** atunci când se dorește realizarea cinematicii directe.

Pentru a utiliza **IK** aplicat se parcurg următoarele etape:

1. se adaugă un instrument **HD Solver** la ierarhie;
2. se leagă obiecte în structura **IK** de obiecte de urmărit;
3. se animează obiectele de urmărit;
4. se selectează orice obiect din structura **IK**;

5. în panoul **Hierarchy**, se execută clic pe sub-panoul **IK** și se extinde caseta derulantă **Inverse Kinematics**;
6. se acționează butonul **Apply IK**.

Observație

Se recomandă verificarea cadrelor de început (**Start**) și de sfârșit (**End**) pentru ca acestea să se potrivească cu lungimea animației.

Interfața casetei derulante **Inverse Kinematics** este prezentată în fig. 2.16.

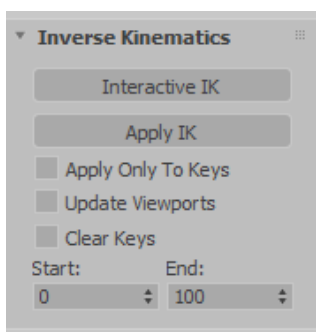


Fig. 2.16. Caseta derulantă **Inverse Kinematics**

Butonul Interactive IK

Permite manipularea **IK** a ierarhiilor fără aplicarea unui instrument **IK Solver** sau utilizarea unui obiect de urmărire.

Butonul Apply IK

Calculează soluția **IK** pentru fiecare cadru al animației și creează chei de transformare pentru fiecare obiect din lanțul **IK**. Pe bara cadrelor de animație apare o bară de progres pentru a indica progresul calculelor.

Caseta de validare Apply Only To Keys

Permite rezolvarea soluției **IK** pentru cadrele cheie care există deja pentru unul dintre efectorii finali.

Caseta de validare Update Viewports

Permite vizualizarea progresului – rezultat în urma acționării butonului **Apply IK** – cadru cu cadru în viewport-uri.

Caseta de validare Clear Keys

Permite eliminarea tuturor cheilor de deplasare și de rotire din lanțul **IK** selectat înainte de a aplica **IK**.

Parametrii **Start/End**

Permit setarea intervalului de cadre pentru a calcula soluția **IK** aplicată. Setările implicite pentru **Apply IK** calculează soluția **IK** pentru fiecare cadru al segmentului de timp activ.

2.2.2.2. Caseta derulantă **Auto Termination (Interactive IK)**

Comenzile **Auto Termination** atribuie temporar terminatorilor un anumit număr de legături în sus (spre ascendenți) în lanțul ierarhic de la obiectul selectat. Acest aspect este valabil numai cu **Interactive IK** și nu funcționează cu **IK** aplicate sau cu soluții **IK**.

Accesul la aceste comenzi se obține după realizarea unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy**, a sub-panoului **IK** și în final a casetei derulante **Auto Termination**.

Procedură

Pentru a utiliza instrumentul **Auto Termination** se parcurg următoarele etape:

1. în caseta derulantă **Auto Termination** se activează caseta de validare **Auto Termination**;
2. se introduce o valoare în câmpul **# of Links Up**;
se activează butonul **IK** de pe bara de instrumente;
3. se selectează orice obiect dintr-un lanț **IK** pentru a se deplasa sau roti.

Interfața casetei derulante **Auto Termination** este prezentată în fig. 2.17.

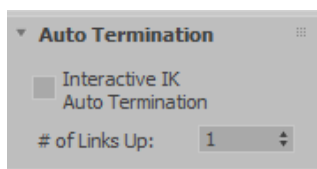


Fig. 2.17. Caseta derulantă **Auto Termination**

Caseta de validare **Interactive IK Auto Termination**

Permite activarea funcției de terminare automată.

Parametrul **# of Links Up**

Specifică cât de departe în lanț este aplicată terminarea.

De exemplu, dacă acest parametru se setează la valoarea 5, atunci când se deplasează orice obiect din ierarhie, obiectul care se află la cinci legături în sus în lanț, de la obiectul care este ajustat, acționează ca un terminator. Dacă se selectează un obiect diferit în ierarhie, terminarea este comutată la

oricare dintre obiectele aflate la cinci legături în sus în lanț de la obiectul nou selectat.

O setare la valoarea de 1 pur și simplu blochează ierarhia, deoarece termină legătura chiar dincolo de obiectul selectat curent.

2.3. Pagina Link Info

Această pagină a panoului **Hierarchy** conține două casete derulante. Casetă derulantă **Locks** conține comenzi pentru a restricționa mișcarea obiectelor după o anumită axă. Casetă derulantă **Inherit** conține comenzi pentru a limita transformările pe care un copil le moștenește de la obiectul său părinte, fig. 2.18.

Accesul la aceste comenzi se obține în urma realizării unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy** iar apoi a sub-panoului **Link Info**.

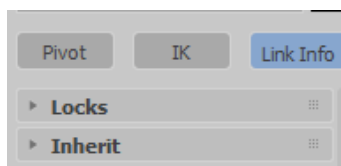


Fig. 2.18. Sub-panoul **Link Info**

2.3.1. Casetă derulantă **Locks**

Casetă derulantă **Locks** permite blocarea capacității unui obiect de a se transforma de-a lungul anumitor axe locale.

Accesul la aceste opțiuni se obține în urma realizării unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy**, a sub-panoului **Link Info** iar apoi a casetei derulante **Locks**.

Procedură

Pentru a bloca toate transformările de mișcare:

1. se selectează un obiect.
2. în caseta derulantă **Locks** se activează grupul **Move** iar apoi casetele de validare **X**, **Y** și **Z**;
numai transformările de rotație și scalare vor funcționa;
obiectul nu trebuie să facă parte dintr-o ierarhie.

Interfața casetei derulante **Locks** este prezentată în fig. 2.19.

Grupurile **Move**, **Rotate** și **Scale** **X/Y/Z**

Activarea oricărei casete de validare pentru axe din grupurile **Move**, **Rotate** sau **Scale** permite blocarea axei respective. De exemplu, dacă în grupul **Rotate** sunt activate casetele de validare **X** și **Y**, obiectul se va putea roti numai în jurul axei **Z**. Toate blocajele sunt relativ la sistemul de coordonate local al unui obiect.

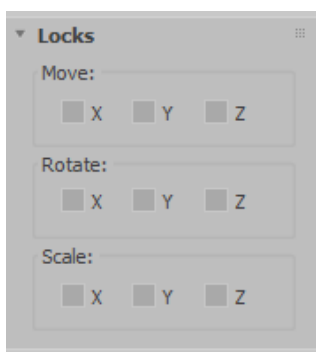


Fig. 2.19. Caseta derulantă **Locks**

2.3.2. Caseta derulantă **Inherit**

Caseta derulantă **Inherit** permite limitarea căror transformări sunt moștenite de un copil. Constrânge legăturile dintre un obiect selectat și părintele său pentru orice axă de poziție, rotație sau scară.

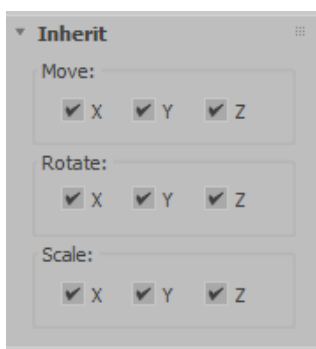


Fig. 2.20. Caseta derulantă **Inherit**

Accesul la opțiunile casetei derulante **Inherit** se obține în urma

realizării unei selecții, deschiderea panoului **Hierarchy**, a sub-panoului **Link Info** iar apoi a casetei derulante **Inherit**.

Procedură

Pentru a împiedica moștenirea rotației după axa X într-o ierarhie:

- se selectează un obiect, apoi se dezactivează X în grupul **Rotation** al casetei derulante **Inherit**.

Interfața casetei derulante **Inherit** este prezentată în fig. 2.20.

Grupurile Move, Rotate și Scale

X/Y/Z

Dezactivarea oricărei axe din grupurile **Move**, **Rotate** sau **Scale** previne moștenirea.

Când o axă este activată, informațiile de transformare sunt transmise de la părinte la copil pentru axa respectivă. Când o axă este dezactivată, informațiile de transformare de pe axa respectivă sunt ignorate de copil.

3. CINEMATICA INVERSĂ

Cinematica inversă (**IK**) reprezintă o metodă de animare care inversează direcția manipulării unui lanț. Spre exemplu în loc să lucreze pornind de la rădăcina unui copac, funcționează pornind de la frunze.

Se consideră exemplul unui braț. Pentru a anima un braț folosind cinematica directă, se rotește brațul superior departe de umăr, apoi se rotește antebrațul, mâna de la încheietură și așa mai departe, adăugând chei de rotație pentru fiecare obiect copil.

Pentru a anima brațul folosind cinematica inversă, se deplasează un obiectiv care poziționează încheietura mâinii. Brațele superioare și inferioare sunt rotite de soluția **IK** care deplasează punctul de pivot al încheieturii mâinii, numit efector final, către obiectiv.

În cazul unui picior, de exemplu, piciorul este constrâns la contactul cu podeaua iar podeaua reprezintă obiectivul. Dacă se mișcă pelvisul, piciorul rămâne pe loc, deoarece obiectivul nu s-a mișcat, iar acest lucru face ca genunchii să se îndoie. Întreaga animație este conținută în cadre cheie pentru obiectiv și rădăcină, fără a fi aplicate chei obiectelor individuale în lanț [7, 8]. Cu ajutorul cinematicii inverse este posibilă configurarea și animarea rapidă de mișcări complexe. Procedura de bază presupune următoarele etape:

- Construirea unui model; acesta poate fi o structură îmbinată (cu articulații), mai multe piese sau o singură suprafață continuă.
- Legarea modelului articulat și definirea punctele pivot cu ajutorul panoului **Hierarchy**.

Pentru un model cu suprafață continuă, se creează o structură **Bones** sau se utilizează un biped pentru a anima pielea personajului.

- Se aplică soluțiile **IK** la ierarhia comună. Este posibilă crearea mai multor lanțuri **IK** în întreaga ierarhie, nu doar unul. De asemenea, este posibilă crearea mai multor ierarhii independente, în locul legării tuturor obiectelor într-o singură ierarhie mare. Pentru o animație cinematică inversă simplă se poate utiliza **IK** în mod interactiv, fără a aplica vreo soluție **IK (Solver IK)**.

- Definierea comportamentului articulațiilor la punctele de pivotare, stabilirea limitelor sau unghiurilor preferate, în funcție de tipul de soluții **IK** care se utilizează. Se pot configura articulații de translație (glisante) sau articulații de rotație (rotative).
De asemenea, în această etapă ar putea fi necesară deplasarea rădăcinii ierarhiei și adăugarea de obiecte de control (obiecte de tip **Helpers**), cum ar fi obiecte fictive (obiecte **Dummy**) sau puncte (obiecte **Point**).
- Animarea obiectivului (în cazul unui **HI Solver** sau **IK Limb**) sau efectorul final (în cazul **HD Solver**). În acest fel se animează toate componentele lanțului **IK**.
Se pot aplica constrângeri obiectivelor, obiectelor de control sau rădăcinii unui lanț.

Obiecte de control pentru a ajuta IK

Ceva mai sus s-au menționat obiectele de control. Se menționează faptul că este posibilă legarea unui obiectiv sau a unui efector final de puncte (obiecte **Point**), curbe spline sau obiecte fictive (obiecte **Dummy**) care servesc drept comenzi rapide pentru a transla sau roti capătul unui lanț. Aceste obiecte de control pot fi de asemenea legate între ele sau pot fi controlate cu ajutorul constrângerilor. De asemenea, se poate utiliza legarea parametrilor (**Wire Parameters**) pentru a construi relații între aceste obiecte de control.

Este posibilă conectarea obiectelor de control la ajutoare manipuloare (obiecte **Helpers**) sau la atribute personalizate, creând o interfață ușor accesibilă pentru modelul animabil.

De asemenea se pot adăuga alte controale pentru a manipula elementele din mijlocul lanțului.

Observație

În **HI Solver**, unghiul de rotire are propriul său manipulator, care poate fi animat sau legat de un alt obiect țintă. Când obiectivul pozițional este dat pentru un singur lanț, rămâne un grad evident de libertate: rotația în jurul axei efectorului final (**End Effector Axis (EE Axis)**). Unghiul de rotire este folosit pentru a descrie cantitativ acest grad de libertate.

Diferențele dintre cinematica directă și inversă

Cinematica directă utilizează o metodă de sus în jos, unde se începe prin poziționarea și rotirea obiectelor părinte și se continuă în jos în ierarhie, poziționând și rotind fiecare obiect copil.

Principiile de bază ale cinematicii directe includ:

- legarea ierarhică de la părinte la copil;
- puncte pivot care definesc articulațiile dintre obiecte;
- copiii moștenesc transformările părinților lor.

Atâta timp cât toate obiectele sunt legate între ele și punctele pivot sunt amplasate în locații comune, structura se poate anima cu succes.

Cinematica inversă (**IK**) folosește o metodă direcționată către obiectiv, în care se poziționează un obiect obiectiv, iar *3ds Max* calculează poziția și orientarea capătului lanțului. Poziția finală a ierarhiei, după ce toate calculele au fost rezolvate, se numește soluție **IK**. Există o varietate de soluții **IK** (**IK Solver**) care pot fi aplicate unei ierarhii [3, 6, 8].

Cinematica inversă începe cu legarea și plasarea pivotului ca fundație și apoi adaugă următoarele principii:

- articulațiile pot fi limitate cu proprietăți de poziție și rotație specifice;
- poziția și orientarea obiectelor părinte sunt determinate de poziția și orientarea obiectelor copil.

Datorită acestor aspecte, **IK** necesită o mai mare atenție la modul în care se leagă obiectele și se plasează pivoții. Acolo unde multe soluții diferite pentru legarea obiectelor pot fi potrivite pentru cinematica directă, există de obicei doar câteva soluții bune pentru orice abordare **IK** dată.

Cinematica inversă este adesea mai ușor de utilizat decât cinematica directă și permite crearea rapidă de mișcări complexe. Dacă mai târziu aceste mișcări trebuie editate, poate fi mai simplă revizuirea animației dacă se utilizează **IK**.

3.1. Terminologia **IK**

Utilizarea cinematicii inverse necesită setarea parametrilor pentru un anumit număr de componente **IK**. În continuare vor fi prezentate scurte definiții ale acestor componente, urmând ca alte detalii să fie oferite în alte capitole de teorie sau exemple.

Observație

3ds Max oferă o varietate de sisteme de cinematică inversă. Există patru tipuri de soluții **IK**, și în plus sistemele de aplicare **IK** aplicate și **IK** interactiv care nu folosesc soluții **IK**. Referitor la următorii parametri ce vor fi prezentați, nu toți dintre aceștia sunt utilizați de către toate sistemele.

IK Solvers

Un rezolvator **IK** aplică o soluție **IK** unui lanț cinematic. Lanțul cinematic este compus dintr-un schelet (sistem de obiecte **Bones**) sau un set de obiecte legate.

Joints

O îmbinare **IK** controlează modul în care un obiect se transformă în raport cu părintele său. Comportamentul comun este specificat cu ajutorul a trei categorii de setări:

- **Object Pivot Point** – punct de pivotare al obiectului; locația punctului de pivotare al unui obiect definește locul în care este aplicată mișcarea articulației;
- **Joint Parameters** – parametrii articulației; modificarea setărilor **IK** din panoul de comandă **Hierarchy** determină direcția, constrângerile și ordinea modului în care funcționează articulația;
- **Parent Point Pivot** – punct pivot părinte; locația punctului pivot părinte al unui obiect definește originea de la care sunt măsurate constrângerile comune.

Comenzile utilizate pentru a plasa punctele pivot atât pentru obiect, cât și pentru părintele acestuia se găsesc în panoul de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **Pivot**, caseta derulantă **Adjust Pivot**.

Start and End Joints

Articulațiile de început și de sfârșit definesc începutul și sfârșitul unui lanț **IK** gestionat de soluția **IK**. Ierarhia lanțului determină direcția lanțului. Punctul de pivotare al articulației de capăt este afișat ca efector de capăt, când afișarea efectorului de capăt este activată.

Kinematic Chain

Cinematica inversă calculează poziția și orientarea obiectelor dintr-un lanț cinematic. Lanțul cinematic este definit ca orice parte a unei ierarhii sub controlul **IK**. Lanțul **IK** începe cu un nod selectat și constă dintr-o îmbinare de început și o îmbinare de capăt. Baza lanțului este fie rădăcina întregii ierarhii, fie un obiect specificat ca terminator pentru lanț. Lanțul cinematic este definit atunci când se aplică o soluție **IK** unui lanț sau când se creează un schelet (lanț **Bones**) cu o soluție **IK** aplicată automat [7].

Goal

Scopul este folosit de instrumentul **HI Solver** pentru a manipula capătul lanțului. Când obiectivul este animat, soluția **IK** încearcă să potrivească efectorul final (punctul de pivot al ultimului copil din lanț) cu poziția

obiectivului. Când se utilizează instrumentul **HD Solver**, efectorul final îndeplinește aceeași funcție ca și obiectivul.

End Effector

Pentru orice soluție **IK**, se deplasează în mod explicit un obiect de control. Calculele **IK** vor deplasa și roti toate celelalte obiecte din lanțul cinematic pentru a reacționa la obiectul care a fost deplasat. Obiectul care este deplasat reprezintă scopul, într-un instrument de tip **HI Solver** sau **IK Limb Solver**, sau un efector final în cazul unui **HD Solver**.

Preferred Angle

Determină în ce direcție se va îndoi o articulație. Unghiul preferat stabilește un unghi de bază între elementele lanțului atunci când se aplică un instrument **HI Solver**. Soluția **IK** caută acest unghi în calcule.

Solver Plane and Swivel Angle Manipulator

Se poate defini un plan între îmbinările de început și de capăt, ceea ce ajută la controlul soluției **IK**. În mod de manipulare, acest parametru permite ajustarea sau animarea planului soluției prin schimbarea unghiului de rotire al manipulatorului. În acest fel se obține manevrarea cu un vector în sus pentru lanț (care poate fi, de asemenea, animat în timp). De asemenea, se poate defini o țintă care să fie urmărită de acest unghi de rotire al manipulatorului.

Terminators

În mod explicit se poate seta baza unui lanț **IK** de tip **HD** (*historic dependent*) definind unul sau mai multe obiecte ca terminatori. Un obiect terminator oprește calculele **IK**, astfel încât obiectele mai sus în ierarhie să nu fie afectate de soluția **IK**. Obiectele terminator sunt, de asemenea, folosite pentru a defini ierarhii care utilizează mai multe lanțuri **HD IK**.

Obiectele **Terminator** nu sunt folosite în **HI Solver** sau **IK Limb Solvers**. În aceste cazuri terminarea este determinată de îmbinarea de capăt a lanțului [8].

Bound Objects

Obiectele dintr-o ierarhie pot fi legate de sistemul global **World** sau pot fi legate de alte obiecte numite obiecte de urmărire.

Legarea permite ca obiectele dintr-o ierarhie să fie influențate de obiecte care nu fac parte din ierarhie.

- Un obiect legat de sistemul **World** va încerca să-și mențină poziția și orientarea actuală.
- Un obiect legat de un obiect urmărit va încerca să se potrivească cu poziția

și orientarea obiectului urmărit.

- Legarea de un obiect urmărit se poate realiza atunci când se utilizează un instrument **HD Solver** sau când este utilizat instrumentul **Applied IK**. Dacă se dorește legarea de un obiect de urmărire atunci când se utilizează un instrument **HI** sau **IK Limb Solver**, se aplică o constrângere de poziție între obiectiv și orice obiect de urmărire la alegere (de obicei un punct – obiect **Point**, manechin – obiect **Dummy**, spline sau os – obiecte **Bones**).

Enabled IK

(**HI Solver**) La utilizarea instrumentului **HI Solver**, animarea se poate realiza fie cu cinematică inversă, fie cu cinematică directă (**FK**). Când **Enabled** este activat, cinematica inversă controlează lanțul, iar cadrele cheie sunt plasate numai pe obiectiv. Când **Enabled** este dezactivat, cheile de rotație ale cinematicii directe sunt plasate pe toate componentele scheletului (**Bones**).

IK/FK Snap

(**HI Solver**) Când se utilizează instrumentul **HI Solver**, dacă animarea folosește atât **IK**, cât și **FK**, se poate crea o situație în care obiectivul s-a îndepărtat de capătul lanțului, provocând un salt în animație. Dacă se acționează **IK/FK Snap**, obiectivul va fi deplasat înapoi pentru a se potrivi cu poziția efectorului final, eliminând saltul din animație.

IK for FK pose

(**HI Solver**) Când acest buton este activat, deplasarea obiectivului setează în mod automat cheile de rotație pentru componentele scheletului. De fapt, acest lucru va permite utilizarea manipulării **IK** pentru a crea poziția, setând tastele **FK**.

3.2. Metode de cinematică inversă

Cinematica inversă se bazează pe conceptele de legătură ierarhică. Pentru a înțelege cum funcționează **IK**, este necesară înțelegerea mai întâi a principiilor legăturii ierarhice și a cinematicii directe [4, 7].

IK Solvers

Instrumentele **IK Solvers** reprezintă controlere specializate care aplică soluții **IK** în mod procedural într-o gamă largă de cadre.

3ds Max oferă patru instrumente **IK Solvers** diferite:

- **HD** (History-Dependent),
- **HI** (History-Independent),
- **IK Limb**,
- **Spline IK**.

Observație

Pentru a folosi un instrument **IK Solvers** pe un lanț cu două elemente de schelet (**Bones**), este nevoie de un al treilea element. Se selectează primul element, apoi din meniul **Create** se execută clic pe **IK Solvers** iar apoi clic pe al treilea element de schelet din viewport.

În general, toate instrumente **IK Solvers**:

- lucrează pe orice ierarhie;
- lucrează pe orice ierarhie sau structură osoasă (schelet);
- calculează soluțiile **IK** pentru toate cadrele în timp real pe măsură ce se fac modificări;
- permit crearea mai multor lanțuri **IK** într-o singură ierarhie;
- permit crearea de lanțuri **IK** multiple sau suprapuse într-o singură ierarhie;
- afișează grafic axele articulațiilor active și limitele articulațiilor;
- utilizează un nod, un obiectiv sau un efect de sfârșit pentru a anima capătul unui lanț;
- utilizează un efector final pentru a anima capătul unui lanț.

Un instrument **IK Solvers** plasează cadre cheie numai pe obiectivul **IK** sau pe efectorul final, spre deosebire de cinematica directă (sau metodele **IK** non-rezolvatoare), care plasează cadre-cheie de rotație pe elementele scheletului sau obiectele ierarhice în sine.

Alte metode IK

În plus față de instrumentele **IK Solvers**, *3ds Max* oferă două metode de animație cinematică inversă non-soluții: **IK Interactive** (**IK** interactiv) și **Applied IK** (**IK** aplicat). Aceste metode **IK** nu folosesc soluții **IK**.

Observație

Acestea sunt metode **IK** mai vechi, preluate din versiunile mai vechi ale soft-ului *3ds Max*. În general, se recomandă utilizarea instrumentelor **IK Solvers** în detrimentul instrumentelor **Interactive IK** sau **Applied IK**.

□ **Interactive IK**

Interactive IK oferă posibilitatea de a utiliza manipularea **IK** pe ierarhii fără a aplica un instrument **IK Solvers**. Structura **IK** se animează activând **Interactive IK** (găsit în panoul **IK** al panoului **Hierarchy** și în bara de instrumente **Hierarchy**) și animarea manuală a poziției efectorilor de capăt. Soluțiile **IK** sunt calculate numai pentru cadrele cheie care sunt setate. Toate celelalte mișcări sunt interpolate așa cum sunt stabilite de controlerle obiectului. Deplasarea capătului lanțului adaugă pur și simplu chei de rotație la obiectele din lanț. Obiectele pot avea limite comune atribuite, pentru un control suplimentar. Lanțul poate fi, de asemenea, terminat folosind instrumentele din caseta derulantă **Auto Termination**.

□ **Applied IK**

Cu ajutorul **Applied IK**, se animează obiectele de urmărire, iar *3ds Max* calculează soluția pentru fiecare cadru dintr-un interval specificat. Soluția **IK** este aplicată ca chei standard de animație de transformare. **Applied IK** funcționează cu orice ierarhie legată de obiecte, cu excepția scheletelor (obiectelor **Bones**) care utilizează **HI Solver** sau **IK Limb Solver**. Cinematica directă se poate combina cu cinematica inversă pe aceleași obiecte. Se poate aplica automat unei game de cadre sau interactiv cadrelor individuale.

Instrumentul **Applied IK** este rapid și precis, dar creează chei pentru fiecare obiect din lanțul cinematic, pe fiecare cadru. Numărul mare de chei poate face dificilă ajustarea animației mai târziu. Pentru a ajusta animația este necesară utilizarea **Applied IK** în mod repetat.

3.2.1. Instrumente **IK Solvers**

Un instrument **IK Solver** creează o soluție cinematică inversă pentru a roti și poziționa legăturile într-un lanț. Un instrument **IK Controller** se aplică pentru a governa transformările copiilor într-o legătură. O soluție **IK** se poate aplica oricărei ierarhii de obiecte. O soluție **IK** se aplică unei ierarhii sau unei părți a unei ierarhii folosind comenzile din meniul **Animation**; pentru aceasta se selectează un obiect din ierarhie, se selectează un instrument **IK**, apoi se execută clic pe alt obiect din ierarhie pentru a defini sfârșitul lanțului **IK**.

Accesul la instrumentele **IK Solvers** se realizează prin una dintre metodele [4, 7, 8]:

- interfața **Workspace: Default** – se selectează un obiect dintr-o ierarhie de unde se dorește să înceapă **IK** – meniu **Animation – IK Solvers** – se aplică un instrument **IK** – se execută clic pe obiectul din ierarhie cu care se dorește să se încheie lanțul **IK**;
- interfața **Default with Enhanced Menus** – se selectează un obiect dintr-o ierarhie de unde se dorește să înceapă **IK** – meniul **Animation – IK Solver** – se aplică un instrument **IK Solver** – se execută clic pe obiectul din ierarhie unde se dorește să se încheie lanțul **IK**.

Fiecare tip de soluție **IK** are propriul comportament și flux de lucru, precum și propriile controale și instrumente specializate care sunt afișate în panourile **Hierarchy** și **Motion**. Soluțiile **IK** reprezintă *plug-in*-uri, astfel încât programatorii să poată extinde capabilitățile **IK** ale *3ds Max* personalizând sau scriind propriile soluții **IK**.

3ds Max este livrat cu patru soluții (instrumente) **IK** diferite. Cele două cele mai frecvent utilizate sunt **History Independent (HI)** și **History Dependent (HD)**.

Cum funcționează un instrument **IK Solver**

Un instrument **IK** funcționează în general în acest fel: un lanț cinematic invers este definit ca parte a unei ierarhii, spre exemplu de la șold până la călcâi sau de la umăr până la încheietura unui personaj. La sfârșitul lanțului **IK** se află un obiect fals (*gizmo*), numit obiectiv. Obiectivul poate fi re poziționat sau animat de-a lungul timpului într-o varietate de moduri, adesea folosind conexiuni, parametri *wire* sau constrângeri. Indiferent de modul în care este mutat obiectivul, soluția **IK** încearcă să deplaseze pivotul ultimei articulații din lanț (numit și efector final) pentru a îndeplini obiectivul. Soluția **IK** rotește părțile lanțului pentru a se întinde și re poziționa efectorul final pentru a coincide cu obiectivul.

În mod frecvent, efectorul final este constrâns la planul de bază. De exemplu, degetele de la picioare ar putea fi ”fixate” în timp ce călcâiele se ridică într-un ciclu de mers al unui personaj. Apoi, mișcarea rădăcinii lanțului ridică picioarele de la degete.

3ds Max oferă patru soluții de *plug-in*-uri **IK**:

• **HI (History-Independent) Solver**

Soluția **HI** este metoda preferată pentru animația personajelor și pentru orice animație **IK** în secvențe lungi. Cu instrumentele **HI Solvers**, se pot configura mai multe lanțuri într-o ierarhie. De exemplu, piciorul unui personaj poate avea un lanț de la șold până la gleznă și altul de la călcâi

până la deget.

Deoarece algoritmul acestui instrument este independent de istorie (*history-independent*), este rapid de utilizat, indiferent de câte cadre de animație sunt implicate. Viteza sa este aceeași pe 2000 de cadre ca și pe 10 cadre și este stabilă și lipsită de fluctuații în fereastra viewport. Acest instrument creează un obiectiv și un efector final (deși afișarea efectorului final este dezactivată în mod implicit). Utilizează un unghi de pivotare pentru a regla planul soluției, spre exemplu pentru a poziționa cotul sau genunchiul. Manipulatorul de unghi de pivotare se poate afișa în viewport și se poate regla. **HI IK** folosește și un unghi preferat pentru a defini direcția de rotație, spre exemplu, astfel încât cotul sau genunchii să se îndoaie corect.

• **HD (History-Dependent) Solver**

HD Solver este un instrument foarte potrivit pentru a fi folosit pentru animarea mașinilor, în special a celor cu părți glisante care necesită animație **IK**. Acesta permite setarea limitelor comune și a priorității (precedenței). Totuși, are probleme de performanță pe secvențe lungi, așa că în mod ideal se utilizează pe secvențe scurte de animație. Este bun pentru animarea mașinilor, în special a celor cu piese glisante.

Deoarece algoritmul acestui instrument depinde de istorie, funcționează cel mai bine pentru secvențe scurte de animație. Cu cât se rezolvă mai târziu în succesiune, cu atât este nevoie de mai mult pentru a calcula o soluție. Acest instrument permite legarea efectorului final de un obiect de urmărire și utilizează un sistem de precedență și amortizare pentru a defini parametrii de îmbinare. De asemenea, permite folosirea îmbinărilor glisante (a cuplelor de translație) combinate cu animația **IK**, spre deosebire de instrumentul **HI IK**, care permite utilizarea îmbinărilor glisante doar atunci când se utilizează mișcarea **FK**.

• **IK Limb Solver**

Instrumentul **IK Limb** operează doar pe două elemente de schelet (sisteme **Bones**) dintr-un lanț. Este un instrument de rezolvare analitic care este rapid în ferestrele viewport și poate anima brațele și picioarele unui personaj.

Instrumentul **IK Limb** poate fi folosit pentru exportul către motoarele de jocuri.

Deoarece algoritmul acestui instrument este independent de istorie, este rapid de utilizat, indiferent de câte cadre de animație sunt implicate.

Viteza sa este aceeași pe 2000 de cadre ca și pe 10 cadre și este stabilă și lipsită de fluctuații în fereastra viewport. Acest instrument creează un obiectiv și un efector final (deși afișarea efectorului final este dezactivată în mod implicit). Utilizează un unghi de pivotare pentru a regla planul soluției pentru a poziționa cotul sau genunchiul. Unghiul de pivotare se poate direcționa către un alt obiect pentru a îl anima. **IK Limb Solver** folosește de asemenea și un unghi preferat pentru a defini direcția de rotație, astfel încât cotul sau genunchii să se îndoaie corect. De asemenea, permite comutarea între **IK** și **FK** și are o funcție specială **IK** pentru funcția de poziție **FK**, astfel încât să se poată utiliza **IK** pentru a seta cheile **FK**.

• Spline IK Solver

Instrumentul **Spline IK** folosește o curbă spline pentru a determina curbura unei serii de elemente de schelet sau a altor obiecte legate.

Vertex-urile de pe o curbă spline **IK Spline** sunt numite noduri. La fel ca vertex-urile, nodurile pot fi deplasate și animate pentru a schimba curbura unei curbe spline.

Numărul de noduri spline poate fi mai mic decât numărul elementelor de schelet. Acest aspect oferă ușurința de poziționare sau animare a unei structuri lungi cu mai multe elemente de schelet cu doar câteva noduri, spre deosebire de animarea fiecărui element individual.

Spline IK oferă un sistem de animație mai flexibil decât alte instrumente **IK**. Nodurile pot fi deplasate oriunde în spațiul 3D, astfel încât structura legată poate fi modelată în mod complex.

Atunci când un instrument **Spline IK** este atribuit, un obiect *helper* este plasat în mod automat la fiecare nod. Fiecare nod este legat de obiectul său *helper* corespunzător, astfel încât un nod poate fi deplasat prin deplasarea obiectului *helper*. Spre deosebire de **HI Solver**, sistemul **Spline IK** nu folosește un obiectiv. Pozițiile nodurilor în spațiul 3D reprezintă singurul factor care determină forma structurii legate. Rotirea sau scalarea nodurilor nu are niciun efect asupra curbei splinei sau structurii.

Observație

3ds Max oferă de asemenea încă alte două metode de manipulare cinematică inversă a ierarhiilor, care nu depind de instrumentele de rezolvare: **IK** interactiv (**Interactive IK**) și **IK** aplicat (**Applied IK**).

IK cu sisteme Bones

În timp un instrument **IK Solver** se poate aplica oricărei ierarhii de obiecte, un sistem de tip **Bones** combinat cu un instrument **IK Solver** reprezintă o modalitate bună de a anima un personaj.

Un schelet (sistem osos – sistem **Bones**) constă dintr-o legătură ierarhică articulată de obiecte osoase. Elementele de schelet sunt folosite ca o armătură de care sunt legate obiectele. Dacă se utilizează funcția de modificare **Skin**, un schelet poate fi ”îmbrăcat”, astfel încât animația elementelor de schelet să deformeze suprafața (*mesh*) care modelează un personaj. Dacă un personaj este articulată, se pot utiliza legături sau constrângeri, astfel încât elementele de schelet să animeze rețeaua *mesh*.

Animarea elementelor de schelet cu piele poate face ca pielea să se întindă sau să se micșoreze.

Transformarea altor obiecte în elemente de schelet

Orice obiect poate fi transformat într-un element de schelet. Pentru aceasta se selectează obiectul, se alege meniul **Animation** iar apoi sub-meniul **Bone Tools**. În fereastra de dialog nou deschisă, caseta derulantă **Object Properties** se activează **Bone On**. Apoi se poate alege **Show Links Only** pentru a înlocui afișarea obiectelor cu elementele de schelet. Acest lucru ar putea fi util dacă există o ierarhie intensivă din punct de vedere geometric pentru a fi animată. Răspunsul la fereastra interactivă va fi mult mai rapid atunci când geometria este ascunsă și se afișează numai la link-uri.

Orice obiect poate fi afișat ca element de schelet. Pentru aceasta se selectează obiectul, apoi se alege meniul **Animation**, sub-meniul **Bone Tools**. Această acțiune va deschide fereastra **Bone Tools**. În caseta derulată **Object Properties** se activează **Bone On**. Apoi se accesează panoul **Display**, iar în caseta derulantă **Links Display** se activează casetele de validare **Display Links** și **Replace Objects**, ceea ce va afișa elementele de schelet în loc de obiect. Acest lucru poate fi util dacă există o ierarhie intensivă din punct de vedere geometric de animat. Răspunsul la viewport-ul interactiv este mai rapid atunci când geometria este ascunsă și se afișează numai ca link-uri.

Link Display

Pentru a afișa legăturile în loc de obiect se pot utiliza casetele de validare **Display Links** și **Link Replaces Object**. Aceste setări se găsesc în caseta derulantă **Link Display** a panoului **Display**. Aceste setări ar putea fi utile dacă există o ierarhie intensivă din punct de vedere geometric de animat. Răspunsul la viewport-ul interactiv este mai rapid atunci când geometria este ascunsă și se afișează numai link-urile.

Avantajele animării scheletelor cu **IK**

Animarea mișcării unui personaj prin cinematică directă este posibilă, rotind fiecare membru în poziție de la umăr la degete și de la șolduri până la degetele de la picioare. Dar este mult mai rapid și mai realist să se folosească cinematica inversă pentru a simula piciorul care interacționează cu solul. De asemenea este mult mai ușor de controlat când sunt necesare modificări în animație. În loc să existe cadre cheie pe fiecare element de schelet din lanț, trebuie realizate modificări la un singur nod, pentru a schimba animația întregului lanț.

Pe de altă parte, este obișnuit ca animatorii să folosească **IK** pentru picioare și **FK** pentru trunchi și brațe. **FK** oferă puțin mai mult control pentru poziționarea părții superioare a corpului. Nu este necesară utilizarea **IK** pentru fiecare sarcină de animație a personajelor. Utilizarea soluției **HI IK** permite comutarea cu ușurință (înainte și înapoi) între **FK** și **IK**.

Cum se aplică un instrument **IK**

Un instrument **IK** se poate aplica atunci când se creează un sistem **Bones** sau folosind meniul **Animation**;

- Crearea scheletului – crearea sistemului **Bones**
Când se creează elemente de schelet, activarea opțiunii **Assign to Children** permite aplicarea imediată a unui instrument **IK**. În mod implicit valoarea este dezactivat (*off*).
- Instrumentul **IK** se poate aplica pe o parte a scheletului, folosind meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers**. Pentru aceasta este necesară selecția nodului în care se dorește să înceapă lanțul **IK**, apoi se alege meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și se selectează soluția (instrumentul **IK**). Apoi se face clic pe nodul unde se dorește să se termine lanțul. Lanțul va fi creat între punctele pivot ale celor două noduri. Dacă utilizați un **IK Limb Solver**, obiectivul **IK** va fi plasat cu două elemente de schelet mai jos de la cel mai de sus nod care a fost selectat în lanț.

Unde se ajustează instrumentele **IK Solver**

Setările unei soluții **IK** se ajustează în panourile **Motion** și **Hierarchy**:

Panoul **Motion**

Când este selectat obiectivul unui lanț **IK**, panoul de comandă **Motion** afișează casete derulante pentru fiecare instrument **IK** individual [8].

HI Solver

Parametrii panoului **Motion** permit ajustarea unghiului de pivotare al planului soluției, pentru a îndrepta genunchii și coatele. De asemenea,

comenzile din caseta derulantă **IK Solver** permit combinarea perioadelor de **IK** cu **FK** (cinematica directă) cu ajutorul butonului **Enabled** și a butonului **IK**.

HD Solver

Parametrii panoului de comandă **Motion** atribuie, elimină și editează efectorul final pentru articulația selectată curent. Se poate crea un părinte efector final pentru un alt obiect și se poate readuce scheletul la poziția inițială. Modificarea parametrilor controlerului **IK** din panoul **Motion** afectează întregul lanț **HD IK**, chiar și atunci când este selectat doar un singur element de schelet.

IK Limb Solver

Parametrii panoului **Motion** pentru instrumentul **IK Limb** sunt aceiași ca pentru instrumentul **HI**.

Spline IK Solver

Parametrii panoului **Motion** permit activarea/dezactivarea soluției, ajustarea oasele alocate articulațiilor de început și de sfârșit, reglarea unghiurile de răsucire de început și de sfârșit și realizarea setărilor de afișare ale manipulatorului de răsucire.

Panoul **Hierarchy**

HI Solver

Când este selectat un element de schelet, panoul **IK** afișează comenzi pentru a activa și limita articulațiile de rotație și pentru a seta un unghi preferat pentru articulații. Pozițiile unghiulare preferate ale tuturor articulațiilor ajută la controlul direcției de rotație a membrilor. Când este selectat un obiectiv, panoul **IK** este gol.

HD Solver

Se selectează efectorul final al unui lanț **HD IK**. În panoul **Hierarchy**, se execută clic pe **IK**. Comenzile care apar afectează **HD Solver**. Se găsesc, de asemenea, instrumente pentru legarea obiectelor de urmărit și pentru stabilirea priorității și a limitelor articulațiilor, amortizarea și revenirea înapoi.

IK Limb Solver

Când este selectat un element de schelet, panoul **IK** afișează comenzi pentru a activa și limita articulațiile de rotație și pentru a seta un unghi preferat pentru articulații. Pozițiile unghiului preferat ale tuturor articulațiilor ajută la controlul direcției de rotație a membrilor. Când este selectat un obiectiv, panoul **IK** este gol. Dacă se selectează un

element de schelet înainte de a aplica un instrument **IK Solver**, va fi afișat un set diferit de parametri ai articulațiilor de alunecare și rotație, dar aceștia vor fi înlocuiți odată ce este aplicat un instrument **IK Solver**.

Spline IK Solver

Se selectează curba spline a unui lanț **IK Spline**. În panoul **Hierarchy**, se execută clic pe **IK**. Comenzile care apar afectează instrumentul **Spline IK Solver**. Se găsesc, de asemenea, instrumentele pentru legarea obiectelor de urmărit și pentru a stabili prioritatea și limitele articulațiilor, amortizarea și revenirea înapoi. Comenzile din panoul **IK** sunt similare cu cele ale **HD Solver**.

Proceduri

Pentru a adăuga un instrument **IK** la o ierarhie sau la un schelet, se parcurg următoarele etape:

1. se creează un schelet (sistem **Bones**) sau orice altă ierarhie legată de obiecte;
2. se selectează un element de schelet sau un obiect de unde se dorește să înceapă lanțul **IK**;
3. se alege meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** iar apoi se selectează instrumentul **IK** dorit:
 - **HI Solver** pentru animația personajelor;
 - **HD Solver** pentru ansambluri mecanice având cuple de translație;
 - **IK Limb Solver** pentru lanțuri cu două elemente de schelet;
 - **Spline IK Solver** pentru un control îmbunătățit al structurilor complexe, cu mai multe elemente de schelet;
4. se execută clic unde se dorește să se termine lanțul **IK**.

Dacă se utilizează **IK Limb Solver**, este necesară aplicarea instrumentului **IK Solver** pentru a controla doar două elemente de schelet.

Soluția **IK** apare în fereastra viewport.

Pentru a crea o ierarhie de elemente de schelet care utilizează un instrument **IK** se parcurg următoarele etape:

1. se accesează panoul **Create**, se deschide sub-panoul **Systems** și se execută **Bones**;
2. în caseta derulantă **IK Chain Assignment** se alege tipul dorit de instrument **IK** din listă;
3. se activează **Assign To Children**;
4. se execută clic și se trage într-o fereastră viewport pentru a crea scheletul (sistemul **Bones**); se execută clic dreapta pentru a opri crearea de elemente

de schelet;
scheletul este creat cu soluția **IK** deja aplicată.

Observație

Dacă se utilizează soluția **Spline IK**, se deschide o casetă de dialog **Spline IK Solver** unde se pot face setări speciale pentru spline și obiecte ajutătoare utilizate de instrumentul de rezolvare.

Pentru a afișa o ierarhie de obiecte ca schelet, se parcurg următoarele etape:

1. se selectează ierarhia obiectelor din fereastra viewport;
2. din meniul **Animation** se alege **Bone Tools**;
această acțiune va deschide caseta de dialog **Bone Tools**;
3. se extinde caseta derulantă **Object Properties**;
4. în grupul **Bone Properties** se activează **Bone On**;
5. în panoul de comandă **Display**, se derulează în jos până la caseta derulantă **Link Display** și se extinde;
6. în caseta **Link Display** se activează casetele de validare **Display Links** și **Link Replaces Object**;
obiectele dispar și legăturile sunt afișate ca elemente de schelet.

3.2.1.1. Instrumentul History-Independent (HI) IK Solver

Instrumentul **HI Solver (History-Independent** – independent de istorie) nu se bazează pe soluțiile **IK** calculate la cadrele cheie anterioare din cronologie, ceea ce face ca acesta să fie la fel de rapid de utilizat la cadrul 2000 ca și la cadrul 20 [4].

Soluția **HI Solver** folosește un obiectiv pentru a anima un lanț. Obiectivul se animează iar instrumentul de rezolvare **IK** încearcă să deplaseze efectorul final (punctul pivot al ultimei îmbinări a lanțului) pentru a se potrivi cu poziția obiectivului. Adesea, obiectivul este asociat cu alte obiecte de control, cum ar fi puncte (obiecte **Point**) sau obiecte false (obiecte **Dummy**), curbe spline sau schelete (sisteme **Bones**), iar aceste obiecte de control sunt, la rândul lor, conectate la fereastra viewport sau glisoare.

Soluția **IK** are loc într-un plan, cunoscut sub numele de plan de rezolvare (planul soluției). Unghiul planului de rezolvare în spațiul sistemului global este controlat de un parametru numit unghi de pivotare. Unghiul de pivotare este animabil. Acesta poate fi reglat direct sau cu un manipulator.

Instrumentul **HI Solver** permite crearea de lanțuri multiple sau

suprapuse. Acest aspect permite crearea mai multor obiective pentru controale suplimentare. Prin legarea obiectivelor la puncte, curbe spline, schelete sau obiecte false, se pot crea controale simple pentru a anima lanțuri sau ierarhii complexe. De asemenea, se pot utiliza constrângeri asupra acestor obiective sau obiecte de control, ca un alt instrument de animație.

Aplicarea unui instrument Solver HI

Pentru a aplica un instrument **HI Solver** oricărei părți a unei ierarhii, se selectează elementul de schelet sau obiectul de unde se dorește ca instrumentul de rezolvare să înceapă. Apoi se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** iar în final se alege **HI Solver**. În viewport-ul activ, se deplasează cursorul la elementul de schelet unde se dorește să se termine lanțul. Când se execută clic pentru a selecta acest element de schelet, obiectivul este desenat în punctul pivot al acelu element de schelet. Dacă se dorește un obiectiv la capătul îndepărtat al elementului de schelet, se rafinează elementul acolo unde se dorește să fie plasat obiectivul; se va adăuga un element de os suplimentar, iar apoi alegerea acelu element de os va permite plasarea obiectivului la sfârșit.

Când sunt create schelete, un mic element de schelet „nod” este creat automat la capătul lanțului pentru a ajuta acest proces.

Configurarea mai multor lanțuri

Pentru a monta (simula) un schelet pentru un picior uman, se pot folosi trei lanțuri într-un picior, după cum urmează:

- primul lanț este creat de la șold până la gleznă; acest lanț controlează mișcarea generală a piciorului, inclusiv îndoirea genunchiului;
- al doilea lanț este creat de la gleznă până la nivelul piciorului; acest lanț controlează mișcarea în sus și în jos a călcâiului;
- al treilea lanț este creat de la nivelul piciorului până la degete.

Când cele trei lanțuri lucrează împreună, ele ajută la menținerea poziției piciorului în spațiu. Aceasta înseamnă că va menține piciorul plasat pe pământ pe măsură ce corpul personajului se mișcă. Toate cele trei lanțuri **IK** din această configurație de la șold până la deget plasează obiectivele în poziții cheie ale piciorului care imită comportamentul natural al piciorului. În viața reală, degetul de la picior, piciorul și călcâiul pot fi plasate pe pământ sau ridicate.

Fiecare lanț are un obiectiv care conduce la mișcare pe călcâi, picior și deget. Obiectivele **IK** se utilizează pentru a ridica călcâiul, îndoii degetul, mișca și roti întregul picior și menține poziția piciorului în spațiu.

Lanțuri suprapuse

Sistemul de soluționare **IK** permite crearea lanțurilor **IK** suprapuse într-o singură ierarhie. Într-un picior uman, de exemplu, se poate crea un lanț care funcționează de la șold la gleznă, apoi un al doilea lanț de la genunchi până la zona piciorului și un al treilea de la gleznă la degete. Lanțurile care se suprapun se utilizează atunci când se dorește aplicarea obiectivelor la elemente de schelet secvențiale, dar nu se dorește rafinarea acestor elemente.

O altă utilizare bună pentru suprapunerea lanțurilor **HI IK** este aceea de a menține obiectivele din partea de jos a ierarhiei ferm înrădăcinate. În cazul exemplului cu piciorul, glezna, talpa și degetul piciorului nu s-ar putea mișca până când porțiunea superioară a ierarhiei nu ar atinge întinderea completă.

Nu se recomandă încercarea suprapunerii de lanțuri cu diferite tipuri de instrumente **IK Solvers** deoarece s-ar putea obține rezultate imprevizibile.

Crearea obiectelor de control

Pentru a crea obiecte de control în scopul animării obiectivelor, se creează obiecte false (**Dummy**), puncte (**Point**), curbe spline sau alte obiecte în apropierea obiectivului, apoi se leagă obiectivul la obiectul de control. De exemplu, într-un picior uman, s-ar putea avea un obiectiv la gleznă, la nivelul piciorului și la degetul piciorului. Apoi se creează trei curbe spline sub picior, una pentru călcâi, una pentru talpă și una pentru deget. Se conectează fiecare obiectiv la fiecare spline, apoi se animează obiectivele folosind aceste curbe spline. De asemenea, se pot lega curbele spline între ele, astfel încât rotația degetului de la picior să fie controlată de mișcarea călcâiului.

Pe lângă legătura ierarhică, în acest moment se poate utiliza noul sistem de constrângeri (**Constraint**) împreună cu instrumentele de rezolvare **IK**. Oricare dintre constrângeri se poate aplica pentru a crea o relație între obiective sau elemente de schelet și alte obiecte. Obiectivul ar putea fi poziția constrânsă la un obiect fals (**Dummy**) care este mutat. Sau se pot crea trei lanțuri de schelete care sunt toate în același loc și se restricționează un lanț de schelete la altul, apoi se ponderează (se atribuie precedente – priorități) constrângerile.

Utilizarea obiectelor de control presupune ceva mai multă muncă de selectare în fereastra viewport. De asemenea, obiectele de control se pot utiliza pentru a separa lanțuri, de exemplu, într-un braț uman, un lanț s-ar putea termina la încheietura mâinii și un alt lanț separat poate fi creat pentru mână și degete. Obiectul de control de la încheietura mâinii servește ca nod

rădăcină pentru lanțul mâinii, dar acel lanț ar rămâne deconectat (ierarhic vorbind) de lanțul brațului.

Combinarea cinematicii directe cu cinematica inversă

Instrumentul **HI IK** oferă un instrument pentru combinarea **FK** și **IK** într-o singură pistă de animație. Pentru aceasta există un sub-controler **FK** sub controlerul **IK** alocat de acest instrument de rezolvare.

Când butonul **Enabled** este activat (*on*), valorile sub-controler-ului **FK** sunt păstrate, dar ignorate. Când butonul **Enabled** este dezactivat (*off*), valorile sub-controler-ului **FK** se aplică. Pentru a avea acces la butonul **Enabled**, se selectează obiectivul, se deschide panoul **Motion** și se dezactivează butonul **Enabled**. Acest lucru va permite animarea folosind rotații **FK** ale oaselor sau obiecte ierarhice.

Caseta de validare **IK for FK Pose** permite pornirea **IK** în mijlocul manipulării **FK**. Când butonul **Enabled** este dezactivat și **IK for FK Pose** este activat, atunci selectarea și deplasarea obiectivului permite utilizarea **IK** pentru a crea cadrele cheie cinematice înainte. Deplasarea obiectivului pune scheletul și adaugă chei de rotație la toate obiectele din lanț atunci când butonul **Auto Key** este activat.

Când se lucrează cu **IK** și **FK** împreună, este posibil să fie creată o situație în care obiectivul s-a îndepărtat de la capătul lanțului. Folosirea butonului **IK/FK Snap** permite re poziționarea obiectivului, fixându-l înapoi la capătul lanțului. Când **AutoSnap** este activat, fixarea are loc automat; când se atinge obiectivul, nu este necesar să se execute clic pe butonul **IK/FK Snap**.

Controlul preciziei HI IK

Când se animează cu **HI Solvers**, dacă se observă că animația membrilor nu este lină, o soluție ar putea consta din dublarea valorii **Iterations** din grupul **Solutions** al casetei derulante **HI Solver Properties**. De asemenea, se poate încerca reducerea valorii **Thresholds** pentru a netezi animația.

Unghiul de pivotare al instrumentului de rezolvare HI IK

Cerința fundamentală a instrumentului **HI Solver** este ca soluția să fie independentă de istorie (*history-independent*): soluția trebuie să se bazeze pe obiectiv și pe alți parametri incidentali numai în stările lor curente.

Grad de libertate al unghiului de pivotare (Swivel Angle)

Atunci când obiectivul pozițional este dat pentru un singur lanț, un grad evident de libertate rămâne: rotația în jurul axei efectorului final (**End Effector Axis (EE Axis)**), fig. 3.1. Unghiul de rotire este folosit pentru a descrie cantitativ acest grad de libertate [2, 8].

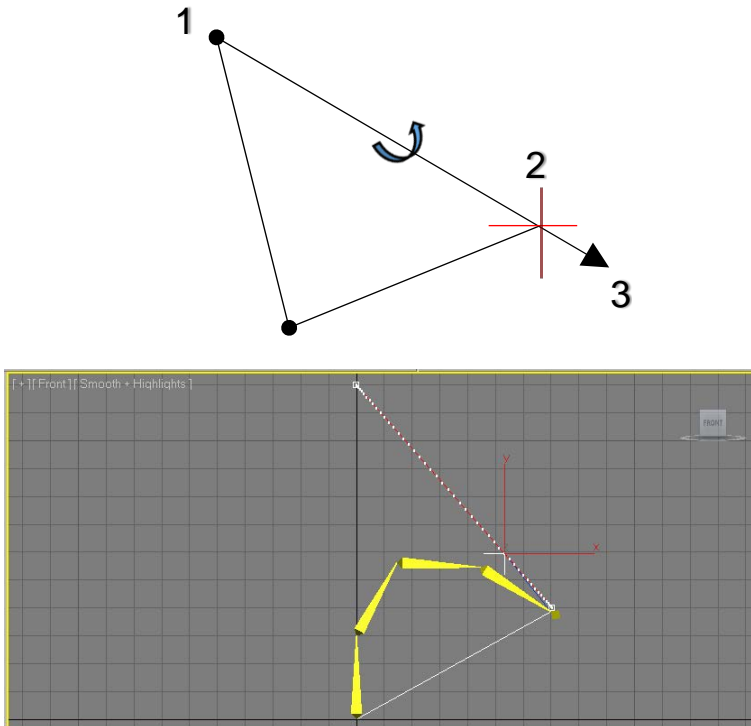


Fig. 3.1. 1. Cuplă de început (**Start Joint**), 2. Efector final (**End Joint**), 3. Axa **EE**

Planul de rezolvare

Planul care trece prin toate articulațiile se numește plan de rezolvare (planul soluției – *Solver Plane*). Când îmbinările nu se află pe un plan, acesta va fi definit ca fiind planul (A) care trece prin articulația de început (**Start Joint**) și articulația de sfârșit (**End Joint**) și planul (B) care este cel mai apropiat de articulația rămasă într-un anumit sens.

Unghiul de pivotare (**Swivel Angle**) descrie gradul de libertate al planului **Solver** și constrânge numai articulația de început (**Start Joint**).

Harta cu Planului Zero

Pentru a descrie planul soluției în termeni de mărime numerică, trebuie să existe un acord cu ceea ce înseamnă 0. Având în vedere poziția efectorului final, se pune întrebarea: unde este *Planul Zero* al soluției (**Zero (Solver)**)

Plane). Harta *Planului Zero* ia drept argument axa efectorului final (**EE Axis**) și produce normala la *Planul Zero*.

Sistemul **IK** permite *plug-in*-urilor individuale de rezolvare pentru a defini propriile hărți al *Planului Zero* (**Zero Plane Maps**). Când nu este definit, sistemul **IK** oferă un *Plan Zero* implicit.

Argumentul pentru *Harta Planului Zero* este un vector unitar pentru a da direcția axei **EE**. În mod echivalent, atunci când **EE** alunecă de-a lungul axei **EE**, planul soluției ar trebui să fie fix. Prin urmare, **Zero Plane Map** definește un câmp vectorial pe o sferă. Având în vedere un punct de pe sferă, acesta produce un vector unitar tangențial care trebuie interpretat ca normal la *Planul Zero*, fig. 3.2.

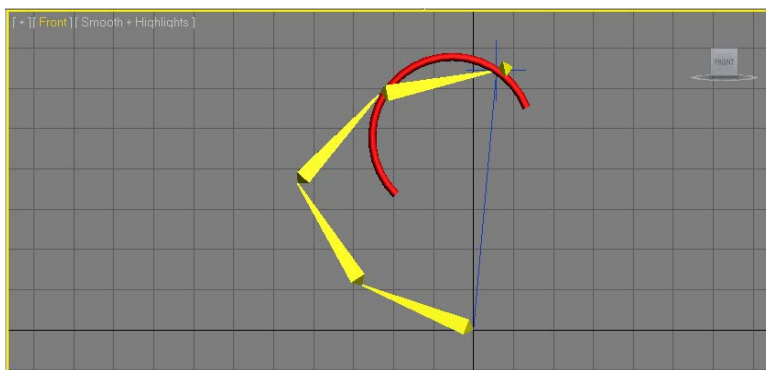
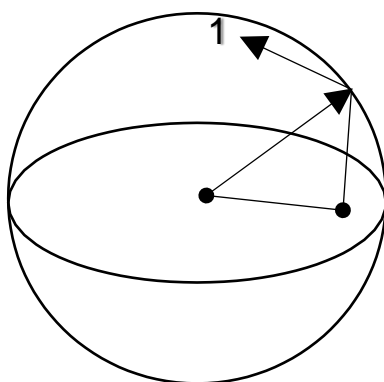


Fig. 3.2. Legendă: 1. Normala la Planul Zero

Planul soluției se întoarce

Este un fapt matematic că nu există un câmp vectorial continuu pe o sferă. Indiferent cât de mult se încearcă, va exista întotdeauna un punct pe sferă în care vectorii vecini se schimbă dramatic. Acesta este locul în care

planul soluției se va întoarce când axa efectorului final se apropie de el.

Acest lucru se datorează faptului că, pe de o parte, cerința independentă de istorie necesită atribuirea unui vector fix punctului singular. Pe de altă parte, indiferent ce vector este atribuit, acesta va fi dramatic diferit de unii vectori alocați punctelor învecinate.

Cadrul de referință intrinsec pentru sferă

Pentru a defini *Harta Planului Zero*, este necesară definirea unui cadru de referință pentru sferă. Acest cadru de referință este intrinsec lanțului de în sine.

O sferă poate fi definită prin centru, planul orizontal și meridian (longitudine zero). Centrul este alocat articulației de start.

Poziția în care toate unghiurile articulațiilor presupun unghiuri preferate este deosebit de importantă. Aceasta se numește: poziția preferată.

Planul de rezolvare este folosit la poziția preferată ca plan orizontal. Deoarece unghiul de pivotare este utilizat pentru a controla articulația de pornire, unghiurile preferate la articulația de pornire nu sunt atât de intrinseci. Este, de asemenea, rezonabil să se definească planul orizontal cu planul de rezolvare care este derivat prin alocarea de zerouri articulației de început și unghiuri preferate celorlalte articulații.

Axa **EE** definește meridianul. Sfera este acum definită așa cum se observă în fig. 3.3.

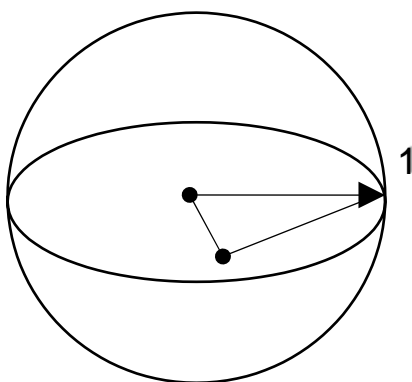


Fig. 3.3. Legendă 1. **EE Axis**

Toate îmbinările presupun unghiuri preferate. *Harta Planului Zero* urmează să fie definită pe această sferă.

Hartă implicită a Planului Zero

Când nu există instrumente de rezolvare de *plug-in* furnizate,

(instrumentul **IK** în sine este implementat ca instrument de rezolvare *plugin*), sistemul **IK** va oferi unul implicit. Această hartă este definită de următoarele reguli:

- A: Pentru fiecare punct de pe ecuator, intersecția planului orizontal și a sferei, vectorul normal este definit ca vector vertical, îndreptat către aceeași direcție cu normala planului soluției la poziția preferată.
- B: Pentru orice punct al sferei, altul decât polii nord sau sud, există un cerc mare care trece de punctul și polii Nord, Sud. Acest cerc întâlnește ecuatorul în două puncte. Un punct este mai aproape de punctul dat. Vectorul normal în punctul dat este definit ca fiind derivat din deplasarea tangențială a normalei în punctul mai apropiat de pe ecuator de-a lungul cercului mare până la punct, fig. 3.4.

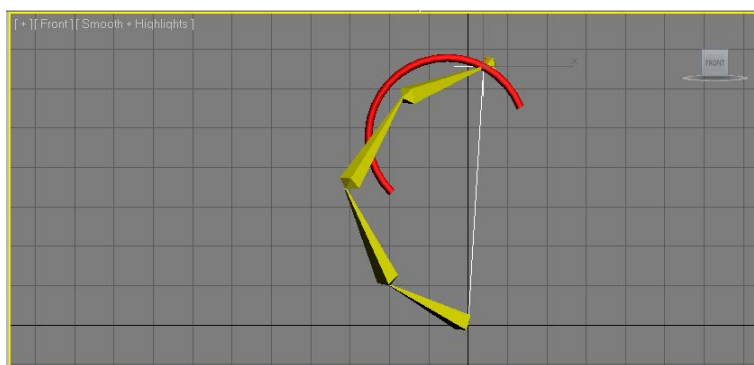
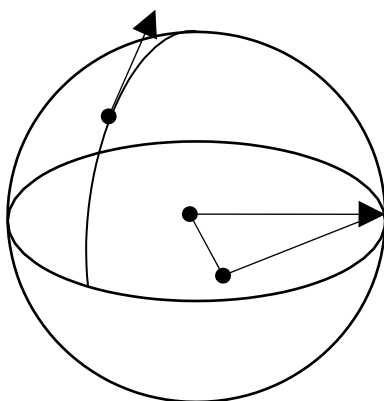


Fig. 3.4. Derivarea normalei implicite la *Planul Zero*

Evident, această metodă nu se va extinde până la polii Nord sau Sud. Ele sunt punctele singulare. Când axa **EE** se mișcă peste poli, normala își va schimba brusc direcția: se întoarce din punctul de vedere al utilizatorilor.

În mod normal, poziția preferată este cea în care rezolvatorul este atribuit pentru prima dată. Deci, planul pe care se așază îmbinările corespunde planului orizontal de aici. Regula A se asigură că lanțul va rămâne pe plan dacă obiectivul se deplasează în plan [2, 8].

Regula B înseamnă că, atunci când obiectivul este deplasat de-a lungul cercului mare vertical la ecuator, lanțul va rămâne vertical, cu excepția cazului în care trece prin poli, care sunt punctele singulare ale acestei hărți.

Spațiul Părinte (Parent Space)

Până acum, lucrurile au fost descrise ca și cum întreaga lume cuprinde doar elemente **IK**. În practică, lanțul **IK** și obiectivul s-ar putea afla în puncte ale ierarhiilor de transformare separate. În cele din urmă, este necesară maparea poziției efectorului final care este considerată în sistemul global la un punct al sferei. În funcție de modul în care este sfera montată în raport cu poziția efectorului final, citirile de latitudine și longitudine sunt diferite. Spațiul de transformare părinte în care urmează să fie plasată această sferă se numește spațiu părinte cu unghi pivotant (**Swivel Angle Parent Space**) sau spațiu părinte (**Parent Space**) când contextul este clar.

Spațiul părinte trebuie să fie invariant în ceea ce privește parametrii **IK**. Pentru aceasta există două opțiuni:

- **Start Joint** – spațiul părinte cu unghi de pivotare (**Swivel Angle Parent Space**) este același cu spațiul părinte al articulației de început (**Start Joint**).
- **IK Goal** – spațiul părinte cu unghi de pivotare (**Swivel Angle Parent Space**) este spațiul părinte al obiectivului **IK** (**IK Goal**).

Casetele derulante HI IK Solver (Panoul Motion)

În această secțiune sunt descrise comenzile pentru **HI IK Solver**, care apar pe panoul **Motion**.

Caseta derulantă IK Solver (HI Solver)

HI Solver reprezintă un instrument de rezolvare independent de istorie care nu se bazează pe calculele de la cadrele anterioare pentru soluția **IK**, deci este rapid de utilizat indiferent de lungimea animației. Instrumentul de rezolvare independent de istorie folosește un obiectiv pentru a manipula capătul lanțului. Se utilizează un unghi preferat care specifică o preferință cu

privire la direcția în care se va roti structura legată: pozitivă sau negativă. Unghiul preferat poate fi considerat și ca unghi inițial; adică unghiul la care a fost rotită structura legată în momentul în care instrumentul de rezolvare a fost aplicat.

Accesul la comenzi se obține în urma selectării unui control **HI** sau **IK Limb Solver IK Chain** (crucea albastră de la sfârșitul lanțului), deschiderea panoului de mișcare **Motion**, acționarea butonului **Parameters**, iar în final deschiderea casetei derulante **IK Solver**.

Soluția **IK** are loc într-un plan, cunoscut sub numele de plan de rezolvare (planul soluției). Unghiul planului de rezolvare este controlat de un parametru numit unghi de pivotare.

Unghiul planului de rezolvare este de fapt calculat în unul dintre cele două sisteme de coordonate: spațiul **Start Joint Parent** sau spațiul **IK Goal Parent**. Spațiul *World* nu este o opțiune explicită; cu toate acestea, se poate configura cu ușurință lanțul **IK** pentru a funcționa în spațiul global, alegând opțiunea **IK Goal Parent** și verificând ca obiectivul **IK** să fie deconectat (adică nu are niciun părinte ierarhic). În acest caz, părintele obiectivului **IK** este *World* și, prin urmare, planul de rezolvare va fi calculat în spațiul global *World*.

Unghiul de pivotare este animabil. Acesta se poate regla direct sau cu ajutorul unui manipulator. Unghiul de pivotare poate fi direcționat către un obiect care poate fi animat, pentru a afecta unghiul de pivotare. Acești parametri se află în lista derulantă **IK Solver Properties**.

Soluția **HI** este concepută pentru a permite animatorului să comute între cinematica directă și inversă rapid și convenabil, cu instrumente pentru a activa în mod automat **IK** și pentru a fixa obiectivul la efectorul final.

Proceduri

Pentru a dezactiva **IK** pe un lanț se parcurg următoarele etape:

1. se selectează obiectivul unui lanț cu un instrument **HI Solver**;
2. pe panoul de mișcare **Motion**, se deschide caseta derulantă **IK Solver**, se dezactivează **Enabled**.

În acest moment **IK** este dezactivat, ceea ce face posibilă selectarea și rotirea oricăruia dintre obiectele din lanț. Activarea și dezactivarea **IK** poate fi animată folosind butonul **Auto Key**.

Pentru a combina **IK** și cinematica directă (**FK**) într-o singură pistă de animație, se parcurg următoarele etape:

1. se aplică un instrument **HI IK Solver** la o ierarhie sau un schelet (sistem **Bones**);
2. se activează butonul **Auto** și se deplasează cursorul de timp înainte în timp;
3. se selectează obiectivul lanțului **IK** și se deschide panoul **Motion**;
4. se deplasează obiectivul pentru a anima lanțul **IK** cu **Inverse Kinematics**;
5. se avansează din nou cursorul de timp;
6. în caseta derulantă **IK Solver**, se dezactivează **Enabled** și **IK** pentru **FK Pose**;
7. se rotește rădăcina; întreaga ierarhie se rotește liber; în acest moment se adăugă cadre cheie utilizând cinematica directă.

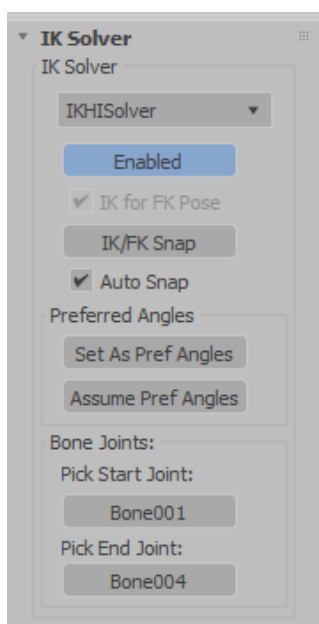


Fig. 3.5. Caseta derulantă **IK Solver**

Pentru a potrivi obiectivul și pozițiile efectorului final se au în vedere următoarele aspecte:

1. Dacă obiectivul și efectorul final devin separate, se execută clic pe **IK/FK Snap** și obiectivul se va deplasa pentru a se potrivi cu îmbinarea de capăt a lanțului.
2. Dacă **AutoSnap** este activat, executând clic pe obiectiv în mod automat va efectua acțiunea de *snap*, potrivit pozițiile obiectivului și ale efectorului final.

Interfața casetei **IK Solver (HI Solver)** este prezentată în fig. 3.5.

Grupul **IK Solver**

Elementele din acest grup oferă posibilitatea de a seta punctele de început și de sfârșit ale lanțului de soluții **HI IK** selectat. De asemenea, această casetă derulantă conține comenzi care permit utilizarea manipulării **IK** pentru a crea cadre cheie de rotație pentru cinematica directă pe obiectele ierarhiei și există butoane pentru a alinia obiectivul și efectorul final.

Lista derulantă **Solver**

Permite alegerea între **HI IK Solver** și **IK Limb Solver**. Orice instrument de *plug-in HI IK* prezent la pornire va apărea și în această listă.

Butonul **Enabled**

Permite activarea și dezactivarea controlul **IK** al lanțului.

Controlerul **HI IK Controller** are un sub-controler **FK**. Când butonul **Enabled** este selectat, valorile sub-controlerului **FK** sunt suprascrise de controlerul **IK**. Când butonul **Enabled** este dezactivat, sunt utilizate valorile **FK**. Setările **Enabled On** și **Enabled Off** pot fi animate.

Acest buton se poate folosi pentru a dezactiva controlul lanțului în funcție de obiectiv, atunci când se dorește realizarea rotațiilor directe.

Caseta de validare **IK for FK Pose**

Permite activarea **IK** în mijlocul manipulării **FK**. Când butonul **Enabled** este dezactivat (*off*) și caseta de validare **IK for FK Pose** este activată, deplasarea obiectivului va activa în mod automat **IK** în mijlocul unei manipulări **FK**. Rezultatul acestei acțiuni constă în faptul că toate sub-controlerile **FK** primesc valori din soluția **IK**. Cheile sunt plasate pe obiectele ierarhice sau pe elementele de schelet, nu pe obiectiv. Când atât butonul **Enabled** cât și caseta de validare **IK for FK Pose** sunt dezactivate, deplasarea obiectivului nu afectează deloc lanțul.

Butonul **IK/FK Snap**

Acest buton permite efectuarea unui *snap IK* în modul **FK** și a unui *snap FK* în modul **IK**.

IK Snap – dacă obiectivul s-a îndepărtat de capătul lanțului, execuția unui clic pe **IK/FK Snap** face ca obiectivul să coincidă cu poziția îmbinării finale.

FK Snap – valorile sub-controlerelor **FK** sunt suprimate de soluția **IK** atunci când **IK** este activat (**Enabled** este activat). Valorile lor nu corespund întotdeauna cu poziția curentă a lanțului. Dacă se dezactivează **Enabled**, valorile sub-controlerelor **FK** vor prelua brusc controlul. Acest lucru poate face ca lanțul să sară. **FK Snap**, înainte ca butonul **Enabled** să fie activat,

forțează sub-controlerele **FK** să-și asume valori din poziția curentă (care este determinată de **IK**). Acest lucru elimină saltul în animația lanțului.

Caseta de validare **Auto Snap**

Când caseta de validare **Auto Snap** este activată, *3ds Max* aplică în mod automat un **IK/FK Snap** înainte de se a activa sau dezactiva butonul **Enabled**. Dacă caseta de validare **Auto Snap** nu este activată, trebuie să se execute clic pe butonul **IK/FK Snap** înainte de a comuta butonul **Enabled**, altfel lanțul va sări.

Grupul **Preferred Angles**

Butonul **Set As Pref Angles**

Setează unghiul preferat pentru fiecare element de schelet din lanțul **HI IK**. Rotația curentă a spațiului părinte a fiecărui element de schelet este plasată în propriile canale de rotație ale unghiului preferat (**Preferred Angle**) **X**, **Y** și **Z**, așa cum se află în caseta derulantă **Rotational Joint** din panoul **Hierarchy, IK**. Acest lucru este util pentru stabilirea unui cadru de potrivire perfectă atunci când se comută între cinematica directă și inversă.

Butonul **Assume Pref Angles**

Copiază canalele unghiurilor preferate **X**, **Y** și **Z** ale fiecărui element de schelet și le plasează în sub-controlerul său de rotație **FK**. Acest buton realizează, în esență, operația inversă a funcției **Set As Pref Angles**.

Grupul **Bone Joints**

Acest grup conține comenzi pentru schimbarea capetelor lanțului **IK**.

Butonul **Pick Start Joint**

Definește un capăt al lanțului **IK**. Se selectează din fereastra viewport sau după nume (se apasă tasta **H**).

Butonul **Pick End Joint**

Definește celălalt capăt al lanțului **IK**. Direcția lanțului este definită de ierarhie, nu de îmbinarea de început și de sfârșit. Se selectează din fereastra viewport sau după nume (se apasă tasta **H**).

Observații

Dacă se schimbă articulațiile de început sau de sfârșit (**Start** sau **End Joints**), astfel încât pentru instrumentul **IK Limb Solver** să existe mai mult de două elemente de schelet între început și sfârșit, soluția nu va funcționa. Deplasarea obiectivului **IK** nu afectează elementele de schelet.

Ordinea ierarhiei determină direcția lanțului. Nu este posibilă inversarea direcției lanțului selectând **Bone 10** ca început și **Bone 1** ca sfârșit.

Caseta derulantă **IK Solver Properties (HI Solver)**

Această casetă derulantă conține o serie de comenzi suplimentare pentru instrumentul de rezolvare **HI IK**. Planul soluției **IK (IK Solver Plane)** este controlat cu ajutorul unghiului de pivotare (**Swivel Angle**), care poate fi animat direct sau folosind un obiect țintă.

Accesul la comenzi se obține în urma selectării efectorului final al unui lanț **HI IK**, deschiderea panoului de mișcare **Motion**, acționarea butonului **Parameters**, iar în final deschiderea casetei derulante **IK Solver Properties**.

În grupul **Parent Space** se poate alege dacă obiectivul **IK** sau articulația de pornire va fi folosit/folosită ca spațiu părinte pentru unghiul de pivotare. Dacă este selectată opțiune **IK Goal** (care reprezintă opțiunea implicită), atunci unghiul de pivotare al lanțului este definit în spațiul părinte al obiectivului său. Dacă se alege **Start Joint**, atunci unghiul de pivotare va fi relativ la spațiul părinte al îmbinării de început. Aceste două opțiuni permit un control mult mai bun al unghiului de pivotare pe un lanț cu două instrumente de rezolvare **HI IK**. De exemplu, primul instrument din partea superioară a lanțului poate folosi un unghi de pivotare în spațiul părinte al articulației de început, în timp ce al doilea instrument **IK** din partea inferioară a lanțului folosește spațiul părinte al obiectivului **IK**. În acest caz, modificarea unghiului de pivotare pentru un lanț nu va schimba orientarea celuiilalt.

În grupurile **Thresholds** și **Solutions** soluția **IK** se poate rafina. Parametrul **Position** stabilește o limită în unități pentru cât de departe poate fi mutat obiectivul de la efectorul final, iar parametrul **Rotation** face același lucru dar în grade unghiulare.

În grupul **Solutions** parametrul **Iterations** reprezintă numărul maxim de încercări pe care soluția **IK** le va efectua înainte de a renunța.

Dacă animația **IK** pare să tremure, se încearcă creșterea parametrului **Iterations** la 200. Creșterea parametrului **Iterations** va încetini timpul de calcul, dar ar trebui să producă rezultate mai bune.

Reglarea unghiului de pivotare (Swivel Angle)

Unghiul de pivotare poate fi reglat cu ajutorul *spinner*-ului din grupul **IK Solver Plane**. Pentru aceasta se activează **Select and Manipulate** din bara principală de instrumente iar manipulatorul unghiului de pivotare este afișat în ferestrele viewport.

Când mouse-ul se deplasează peste manipulator, acesta devine roșu. În acest moment, se poate trage manipulatorul pentru a schimba unghiul de pivotare. Butonul **Auto Key** poate fi activ în timp ce execută această acțiune.

De asemenea, unghiul de pivotare poate fi animat folosind un obiect țintă. Se alege un obiect pentru țintă, apoi animarea obiectului va anima unghiul de pivotare.

Manipulatorul de unghi de pivotare este un manipulator standard. **HI Solver** are propriile controale pentru afișarea acestui manipulator. Acestea se află în caseta derulantă **IK Display Options**.

Procedură

Pentru a crește precizia unei soluții **IK** se parcurg următoarele etape:

1. se selectează obiectivul într-un lanț **HI IK**;
2. în caseta derulantă **IK Solver Properties**, în grupul **Solutions** se modifică parametrul **Iterations** la valoarea 200;
3. se rulează sau se randează animația;
4. de asemenea, parametrii **Position** și **Rotation**, din grupul **Thresholds**, se setează la valori mici.

Interfața casetei derulante **IK Solver Properties** este prezentată în fig. 3.6.

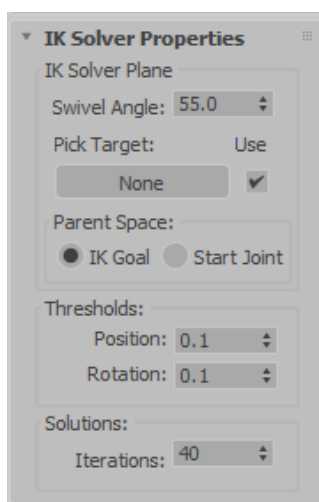


Fig. 3.6. Interfața casetei derulante **IK Solver Properties**

Grupul **IK Solver Plane**

Parametrul **Swivel Angle**

Acest parametru permite controlul planului de rezolvare, **Planul Solver**, care determină direcția genunchiului sau a cotului într-un membru

uman. Unghiul de pivotare, **Swivel Angle**, poate fi manipulat în fereastra viewport activând **Swivel Angle Display** în caseta derulantă **Display Options** și apoi activând **Manipulate Mode**. Când manipulatorul unghiului de pivotare este afișat în fereastra viewport, manipulatorul poate fi animat în mod interactiv pentru a anima planul soluției.

Butonul **Pick Target**

Permite selectarea unui alt obiect care să fie utilizat pentru a anima unghiul de pivotare, **Swivel Angle**.

Caseta de validare **Use**

Activează și dezactivează utilizarea țintei (**Target**).

Grupul **Parent Space**

Definește la ce spațiu este relativ unghiul de pivotare. Opțiunile acestui grup sunt utilizate pe lanțuri cu soluții multiple, astfel încât manipulările unghiului de pivotare pe un lanț nu îl vor afecta pe cel de al doilea.

- Butonul radio **IK Goal** definește unghiul de pivotare, **Swivel Angle**, al spațiului părinte în raport cu obiectivul **IK**;
- Butonul radio **Start Joint** definește unghiul de pivotare, **Swivel Angle**, al spațiului părinte relativ la îmbinarea de început, **Start Joint**.

Grupul **Thresholds**

Acest grup conține parametrii pentru definirea toleranțelor pe care sistemul le utilizează pentru propriile calcule.

Parametrul **Position**

Stabilește o limită în unități cu privire la cât de departe poate fi deplasat obiectivul de la efectorul final. Se recomandă menținerea acestor valori la un nivel scăzut.

Parametrul **Rotation**

Stabilește o limită în grade cu privire la cât de departe poate fi rotit obiectivul față de rotația efectorului final. Se recomandă păstrarea acestui parametru la valori scăzute pentru obținerea celor mai bune rezultate.

Se menționează că ajustarea pragului de rotație, **Rotation Threshold**, pe **HI Solver** și **IK Limb Solver** nu are niciun efect. Acest efect depinde de soluția de *plug-in*, dacă acesta va accepta sau nu o componentă de rotație în soluția **IK**.

Grupul **Solutions**

Acest grup se utilizează pentru a controla precizia animației. Se recomandă creșterea valorilor parametrului **Iterations** atunci când soluția **IK** produce o animație care pare aspră sau tremurată.

Parametrul **Iterations**

Acest parametru reprezintă numărul de încercări pe care o soluție **IK** le va face pentru a găsi cea mai bună potrivire între pozițiile obiectivului și ale efectorului final. Valoarea acestui parametru se mărește dacă se observă o animație tremurată.

Caseta derulantă **IK Display Options (HI Solver)**

Această casetă derulantă conține comenzi pentru activarea și dezactivarea unei varietăți de gadgeturi în fereastra viewport, efectorii obiectiv (**Goal**) și final (**End**), vector de manipulare a unghiului de pivotare și afișarea soluției **IK** în sine.

Accesul la comenzi se obține în urma creării unui lanț de schelet, se adaugă un instrument **HI Solver** și se deschide panou de mișcare **Motion**.

Procedură

Pentru a vedea mai multe soluții **IK** într-un singur lanț se parcurg următoarele etape:

1. într-un lanț cu mai multe soluții **IK**, se selectează un obiectiv în fereastra viewport;
2. în caseta derulantă **IK Display Options**, se activează caseta de validare **Enabled** din caseta **IK Solver Display**;
3. se selectează un al doilea obiectiv și se repetă procesul.

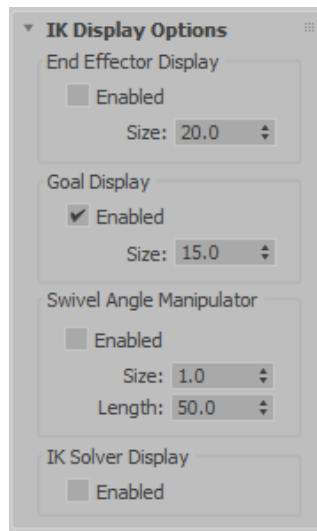


Fig. 3.7. Interfața casetei derulante **IK Display Options**

Afișarea fiecărui obiectiv rămâne indiferent dacă este selectat sau nu. Interfața casetei derulante **IK Display Options** este prezentată în fig.

3.7.

Grupul End Effector Display

Parametrii acestui grup controlează aspectul efectorilor finali în lanțul **IK**.

Caseta de validare Enabled

Permite activarea sau dezactivarea afișării efectorilor finali. Valoarea implicită este dezactivat (*off*).

Parametrul Size

Permite controlul dimensiunii obiectului *gizmo* al efectorului final, în fereastra viewport.

Grupul Goal Display

Acest grup conține parametrii pentru controlul aspectului obiectivelor din lanțul **IK**.

Caseta de validare Enabled

Permite activarea sau dezactivarea afișării obiectivelor. Valoarea implicită este activat (*on*).

Parametrul Size

Controlează dimensiunea obiectului *gizmo* al obiectivului în fereastra viewport.

Grupul Swivel Angle Manipulator

Controlează afișarea manipulatorului unghiului de pivotare în lanțul **IK**. Parametrii acestui grup se activează, apoi se activează modul **Manipulate** pentru a vedea manipulatorul unghiului de pivotare.

Caseta de validare Enabled

Permite activarea sau dezactivarea manipuloarele de unghi de pivotare. Valoarea implicită este dezactivat (*off*).

Parametrul Size

Permite controlul dimensiunii mânerului manipulatorului în ferestrele viewport.

Parametrul Length

Permite controlul lungimii manipulatorului în ferestrele viewport.

Grupul IK Solver Display

Controlează aspectul de afișare al **IK Solver**, linia trasată între îmbinările de început și de sfârșit, pentru alți rezolvatori. Activarea acestei opțiuni se realizează când există mai multe lanțuri care se doresc a fi văzute

în același timp.

Parametrul **IK Solver Display** este întotdeauna activat pentru lanțul curent selectat.

Caseta de validare **Enabled**

Permite activarea sau dezactivarea afișării **IK Solver**. Valoarea implicită este dezactivat (*off*).

Casetele derulante **Sliding Joints și Rotational Joints (HI Solver)**

Aceste casete derulante conțin controalele pentru setarea limitelor articulațiilor atunci se utilizează **HI Solver**. Se pot activa sau dezactiva axele **X**, **Y** sau **Z**, se pot limita și seta aceste limite. Tot în aceste casete derulante se poate defini și ajusta unghiul preferat. Unghiul preferat definește direcția în care se va îndoi lanțul, respectiv spre ce unghi va avea tendința să se rotească.

Accesul la comenzi se obține în urma creării unui lanț scheletic, aplicării unui instrument **HI Solver**, selectării oricărui element de schelet din lanț, deschiderea panoului **Hierarchy** și acționarea butonului **IK**.

Observație

Îmbinările glisante (cuplele de translație) sunt implementate în **HI Solver**, dar acestea nu participă la o soluție **IK**. Cu toate acestea, ele participă la manipularea interactivă **FK**.

Dacă este necesară animarea îmbinărilor glisante cu cinematică inversă se utilizează **HD Solver**.

Proceduri

Pentru a seta direcția în care un lanț **IK** se va îndoi (unghiul preferat) se parcurg următoarele etape (pentru a înțelege setarea unghiului preferat, este util să se folosească un exemplu simplu):

1. se accesează panoul **Create**, se execută clic pe **Systems** și se activează **Bones**;
2. se activează caseta de validare **Assign To Children** și se are în vedere ca **HI Solver** să fie afișat în câmpul nume **Solver**;
3. în viewport-ul **Top** se creează un lanț osos de patru elemente în linie dreaptă;
4. se activează butonul **Auto** și se trage glisorul de timp la cadrul 50;
5. se deplasează obiectivul astfel încât să fie aproape de nodul rădăcină;
6. se selectează orice element de schelet din lanț;

7. în panoul **Hierarchy**, panoul **IK**, se deschideți caseta derulantă **Rotational Joint**;
8. dintre cele trei axe se găsește cea cu unghiul preferat care nu este zero;
9. se modifică unghiul preferat; dacă acesta este negativ, acesta se modifică într-unul pozitiv;
10. se redă animația; modificarea unghiului preferat poate redefini direcția de rotație.

Pentru a seta limitele articulației de rotație într-o ierarhie de obiecte sau un lanț osos, se parcurg următoarele etape:

1. se creează un schelet sau o ierarhie de obiecte;
2. se selectează orice obiect din lanț;
3. în panoul **Hierarchy**, panoul **IK**, se deschide caseta derulantă **Rotational Joint**;
4. dacă se dorește limitarea unei axe, se activează casetele de validare **Active** și **Limited** și se setează valorile parametrilor **From** și **To**; ierarhia se va roti în fereastra viewport.

Observație

Apăsarea butoanelor parametrilor **From** și **To** rotește în mod instantaneu osul la acele unghiuri.

Interfața casetei derulante **Sliding Joint** este prezentată în fig. 3.8.

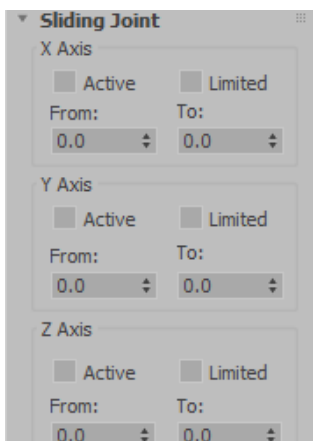


Fig. 3.8. Interfața casetei derulante **Sliding Joint**

Grupurile X, Y, și Z Axis

Caseta de validare Active

Permite activarea unei axe (X, Y sau Z). Permite obiectului selectat să alunece pe axa activată.

Caseta de validare **Limited**

Permite limitarea intervalului de mișcare permis pe o axă activă. Se utilizează împreună cu parametrii **From** și **To**. Majoritatea articulațiilor sunt limitate în domeniul lor de mișcare de-a lungul unei axe active. De exemplu, un piston alunecă numai pe lungimea cilindrului său.

Parametrii **From** și **To**

Acești parametrii determină limitele de poziție. Se utilizează împreună cu funcția **Limited**. Executând clic pe etichetele **From** și **To**, obiectul se deplasează în poziția sa limită. Utilizarea acestei acțiuni permite verificarea limitelor de alunecare ale unui obiect.

Interfața casetei derulante **Rotational Joint** este prezentată în fig. 3.9.

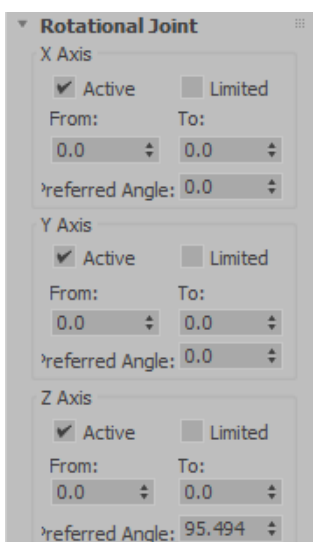


Fig. 3.9. Interfața casetei derulante **Rotational Joint**

Grupurile X, Y, și Z Axis

Caseta de validare **Active**

Permite activarea unei axe (X, Y sau Z). Permite obiectului selectat să se rotească în jurul axei activate.

Caseta de validare **Limited**

Permite limitarea domeniului de rotație permis pe o axă activă. Se utilizează împreună cu parametrii **From** și **To**. Majoritatea articulațiilor sunt limitate în domeniul lor de rotație de-a lungul unei axe active. De exemplu, o roată care se rotește în jurul unei axe ar putea fi limitată să se rotească în jurul unei singure axe.

Parametrii **From** și **To**

Acești parametrii determină limitele de rotație. Se utilizează împreună cu funcția **Limited**. Executând clic pe etichetele **From** și **To**, obiectul se rotește până la limita sa de rotație. Utilizarea acestei acțiuni permite verificarea limitelor de rotație ale unui obiect.

Parametrul **Preferred Angle**

Acest parametru este folosit de **HI Solver** pentru a seta poziția inițială pentru calculele interne. Determină direcția de rotație preferată de un element de schelet.

3.2.1.2. Instrumentul **History-Dependent (HI) IK Solver**

Animarea cu instrumentul **HD Solver** permite utilizarea îmbinărilor glisante (cuplelor de translație) combinate cu cinematica inversă. Acest instrument dispune de comenzi pentru revenire, amortizare și prioritate care nu se găsesc în instrumentul **HI Solver**. De asemenea, are instrumente rapide pentru vizualizarea stării inițiale a lanțului **IK**. Utilizarea acestui instrument se recomandă pentru animații ale mașinilor și altor ansambluri. Deoarece acesta depinde de istorie, performanța este mai lentă la sfârșitul animațiilor lungi. Pentru scene lungi, se recomandă utilizarea **HI Solvers**, dacă este posibil. Accesul la instrumentul **HD Solver** se realizează prin una dintre metodele:

- interfața **Workspace: Default** – se selectează un nod dintr-o ierarhie sau schelet (sistem **Bones**) – meniul **Animation – IK Solvers – HD Solver** – se execută clic pe cel de al doilea nod al lanțului;
- interfața **Default with Enhanced Menus** – se selectează un nod dintr-o ierarhie sau schelet (sistem **Bones**) – meniul **Animation – Relationships/IK – HD Solver** – se execută clic pe cel de al doilea nod al lanțului.

Animarea efectorilor finali (End Effector)

Animația unei ierarhii de obiecte sau a unei structuri de schelet utilizând instrumentele **HD Solver** se obține prin animarea unor efectori finali speciali localizați la articulațiile elementelor de schelet. Există două tipuri de efectori finali: **Position** și **Rotation**. Aceștia sunt afișați ca trei linii albastre care se intersectează la îmbinare.

Atunci când este selectată și transformată o îmbinare care poartă orice efector final, doar efectorul final în sine este transformat. Obiectele sau elementele de schelet din lanț folosesc apoi **IK** pentru a calcula soluția **IK**.

Animarea acestor efectori finali este asemănătoare cu animarea cu **Interactive IK**, cu excepția faptului că interpolarea între cadrele cheie utilizează soluții corecte **IK**.

Conectarea efectorilor finali la un părinte

Efectorii finali **HD IK** pot fi legați la un părinte pentru a obține rezultate similare cu utilizarea obiectelor de urmărire legate cu **IK** interactiv și aplicat (**Interactive IK** sau **Applied IK**). Pentru a conecta un efector final **HD IK** se execută clic pe **Link** în panoul de comandă **Motion**.

Există două motive pentru a lega un efector final la un părinte:

- Întreaga ierarhie poate fi redimensionată. Dacă se animează un robot și apoi se decide că se dorește scalarea întregului robot și animația acestuia, se leagă obiectul rădăcină al robotului la un obiect fals (**Dummy**), se leagă toți efectorii finali ai robotului la același obiect fals și apoi se scalează obiectul fals pentru a scala toate obiectele ierarhice precum și animația efectorilor finali.
- Se pot folosi efectori finali legați pentru lucruri precum picioare sau mâini. Efectorii finali sunt legați automat de sistemul global (**World**), așa că atunci când se deplasează un obiect rădăcină în ierarhie, efectorii finali rămân în urmă. Acest aspect este bun pentru a ține picioarele pe pământ, dar nu foarte bun pentru mâini, unde se dorește deplasarea împreună cu personajul. Pentru ca mâinile să urmeze obiectul rădăcină, se leagă efectorii finali ai mâinilor de obiectul rădăcină.

Conectarea oaselor pentru a urmări obiectele

De asemenea, este posibilă utilizarea obiectelor de urmărire în loc de efectori finali și se pot lega elemente de schelet de orice număr de obiecte de urmărire folosind **Interactive IK**.

Dacă se utilizează obiecte de urmărire cu **HD IK**, nu este necesar să se execute clic pe **Apply IK**. Instrumentul **IK** se ocupă în mod automat de tot.

3.2.1.3. Instrumentul IK Limb Solver

Instrumentul **IK Limb Solver** este special conceput pentru a anima membrele personajelor umane; de exemplu, șold până la gleznă, sau umăr până la încheietura mâinii. Fiecare soluție **IK Limb** afectează doar două elemente de schelet dintr-un lanț, dar pot fi aplicate mai multe soluții la diferite părți ale aceluiași lanț. Acesta este un instrument analitic care este foarte rapid și precis în ferestrele viewport.

Pentru a utiliza soluția **IK Limb**, un sistem de oase trebuie să aibă cel puțin trei elemente de schelet în lanț. Obiectivul se plasează în punctul de pivot al elementului de schelet, care este la două elemente distanță de primul element selectat.

Soluția **IK Limb** funcționează nu numai cu ierarhiile de schelet, ci și cu orice ierarhie legată care are cel puțin trei elemente și este configurată pentru a modela un membru uman. Cerințele suplimentare sunt următoarele:

- prima îmbinare este "sferică", adică are trei grade de libertate;
- a doua articulație este "revolută", un termen din robotică care se referă la faptul că se bazează pe un știft și are un grad de libertate.

Instrumentul **IK Limb** folosește aceleași comenzi ca și instrumentul **HI Solver**, astfel încât permite combinarea perioadelor de cinematică directă și inversă în aceeași perioadă de animație. Nu folosește metodele **HD Solver** de amortizare, precedență și stabilire a limitelor de îmbinare, în schimb are un parametru de unghi preferat, plan de pivotare și opțiunea **IK/FK Enabling**.

Instrumentul **IK Limb** poate fi exportat direct într-un motor de joc.

Proceduri

Pentru a aplica un instrument **IK Limb Solver** se parcurg următoarele etape:

1. se creează un lanț care are trei elemente de schelet;
2. se selectează rădăcina lanțului;
3. din meniul **Animation**, se alege **IK Solvers** iar apoi **IK Limb Solver**;
4. în fereastra viewport se deplasează mouse-ul; se observă o linie punctată atașată la cursor în timp ce se deplasează mouse-ul;
5. se execută clic pe al treilea element de schelet din lanț sau pe orice element după al treilea element;

instrumentul **IK Limb** se afișează pe lanțul de schelet. Instrumentul **IK Limb** afectează doar două elemente de schelet din lanț, dar este necesară selectarea celui de al treilea element pentru a îl pune pe celelalte două elemente.

Pentru a anima un lanț **IK Limb** se parcurg următoarele etape:

1. se aplică instrumentul **IK Limb** unui lanț de două elemente de schelet, cu limitele articulațiilor așa cum s-a descris mai sus;
2. se selectează obiectivul;
3. se deplasează sau se rotește obiectivul.

Interfața

Interfața instrumentului **IK Limb** este identică cu cea a instrumentului

HI Solver.

Accesul la instrumentul **IK Limb Solver** se obține în urma selectării obiectivului de la sfârșitul lanțului și a deschiderii panoului **Motion**; aici se vor vedea comenzile pentru instrumentul **IK Limb**. (Al patrulea este disponibil din panoul **Hierarchy**, butonul **IK**, atunci când este selectat un element de schelet.)

3.2.1.4. Instrumentul Spline IK

Instrumentul **Spline IK** folosește o curbă spline pentru a determina curbura unei serii de elemente de schelet sau a altor obiecte legate.

Accesul la instrumentul **Spline IK** se realizează prin una dintre metodele:

- se deschide panoul **Create**, sub-panoul **Systems**, lista derulantă **Standard**, caseta derulantă **Object Type**, se acționează butonul **Bones**, se alege **SplineIKSolver** din lista **IK Solver**;
- interfața **Workspace: Default** – se selectează meniul **Animation** – sub-meniul **IK Solvers** – se execută clic **Spline IK Solver**;
- interfața **Default with Enhanced Menus** – se selectează meniul **Animation – Relationships/IK** – se selectează instrumentul **Spline IK Solver**.

Pentru a modifica curbura unei curbe spline se pot deplasa și anima vârfurile curbei spline. De obicei, un obiect *helper* este plasat la fiecare vârf pentru a ajuta la animarea curbei spline. Curbura curbei spline este apoi transmisă întregii structuri legate. Elementele de schelet în sine nu își schimbă forma.

În mod normal, numărul de vertex-uri ale curbei spline și elemente de schelet este același, dar se pot utiliza mai puține vertex-uri pentru a poziționa și anima mai ușor o structură lungă cu elemente multiple cu doar câteva noduri, spre deosebire de animarea fiecărui element individual.

Spline IK oferă un sistem de animație mai flexibil decât alte instrumente **IK**. Se pot poziționa vertex-uri/obiecte *helper* oriunde în spațiul 3D, astfel încât structura legată să poată lua orice formă se dorește.

Un obiect *helper* este plasat în mod automat la fiecare vertex atunci când este atribuit instrumentul **Spline IK**. Fiecare vertex este legat de obiectul său *helper* corespunzător, astfel încât un vertex poate fi deplasat prin deplasarea obiectului *helper*.

Spre deosebire de instrumentul **HI Solver**, sistemul **Spline IK** nu folosește un obiectiv. Pozițiile obiectelor *helper*/vertex-urilor în spațiul 3D este singurul factor care determină forma structurii legate.

3.2.2. IK Interactiv și IK aplicat

IK interactiv (**Interactive IK**) și **IK** aplicat (**Applied IK**) sunt metode alternative la metodele **IK Solver**.

Observație

IK interactiv și **IK** aplicat reprezintă caracteristici preluate de la cea mai veche versiune a *3ds Max*. Se recomandă explorarea mai întâi a metodelor **IK Solver** și să utilizarea metodelor **Interactive IK** sau **Applied IK** numai dacă se descoperă că instrumentele **IK Solvers** nu satisfac nevoile.

3.2.2.1. Animația cu Interactive IK

Cu metoda **Interactive IK** și butonul **Auto Key** activat, se poziționează modelul la cadre cheie, iar soluția **IK** este interpolată între acele cadre cheie. Deoarece soluția **IK** ține cont de mai multe obiecte și de îmbinările dintre obiecte, animația interpolată a unui obiect **IK** este de obicei diferită de animația obiectelor fără **IK**.

Accesul la metoda **Interactive IK** se obține în urma selecției panoului de comandă **Hierarchy**, a butonului **IK** iar în final prin acționarea butonului **Interactive IK** al casetei derulante **Inverse Kinematics**.

Observație

Metoda **Interactive IK** reprezintă o caracteristică preluată din cea mai veche versiune a *3ds Max*. Se recomandă explorarea mai întâi a metodelor **IK Solver** și utilizarea metodei **Interactive IK** numai dacă se constată că soluțiile **IK** nu satisfac nevoile.

Comportamentul obiectelor în modul IK

Pe măsură ce se realizează deplasarea și rotirea obiectelor folosind **IK** interactiv, este posibil să se observe că unele obiecte ar putea să nu se poată mișca sau roti în jurul tuturor axelor. Acest lucru se datorează faptului că obiectele sunt constrânse de parametrii de îmbinare care au fost setați. Dacă parametrii de îmbinare specifică că mișcarea nu poate avea loc pe o anumită axă, capătul (sfârșitul) lanțului nu se va mișca.

Comportamentul obiectelor rădăcină în modul **IK**

O opțiune din pagina **Inverse Kinematics** al ferestrei de dialog **Preference Settings** activează cazul special de deplasare și rotire a obiectelor rădăcină atunci când modul **IK** este activat; această comandă este **Always Transform Children Of The World**.

În timp ce un efector final este transformat utilizând modul **IK**, setările pentru parametrii de îmbinare ai obiectului rădăcină sunt utilizate și obiectul rădăcină nu se mișcă în raport cu sistemul global (*World*). Dacă se selectează obiectul rădăcină, parametrii de îmbinare a acestuia sunt eliberați și obiectul rădăcină se poate transforma (poate fi supus funcțiilor de transformare).

Dacă se decide că se dorește ca obiectele rădăcină să-și folosească întotdeauna parametrii de îmbinare, se poate dezactiva opțiunea **Always Transform Children Of The World**.

Obiectele unice, nelegate sunt ierarhii de unu. Un obiect nelegat este propria sa rădăcină și este, de asemenea, un copil al sistemului global (*World*). Activarea casetei de validare **Always Transform Children of the World** va împiedica transformarea obiectelor individuale în mod **IK**.

3.2.2.2. Animația cu **Applied IK**

Metoda **Applied IK** necesită legarea unuia sau a mai multor părți ale structurii **IK** considerate pentru a urmări obiecte animate. Odată realizate legăturile se poate selecta orice obiect din lanțul cinematic și se execută clic pe butonul **Applied IK**. Această acțiune calculează soluția **IK** pentru fiecare cadru al animației și plasează cheile de transformare pentru fiecare obiect din lanțul **IK**.

Accesul la metoda **Applied IK** se obține în urma selecției panoului de comandă **Hierarchy**, a butonului **IK**, setarea parametrilor obiectului cum ar fi **Bind to Follow Object** iar în final prin acționarea butonului **Apply IK** al casetei derulante **Inverse Kinematics**.

Metoda de animație **Applied IK** funcționează cel mai bine atunci când se dorește ca obiectele din lanțul cinematic să se potrivească exact cu mișcările altor obiecte.

Observație

Metoda **Applied IK** reprezintă o caracteristică preluată din cea mai veche versiune a *3ds Max*. Se recomandă explorarea mai întâi a metodelor **IK**

Solver și utilizarea metodei **Applied IK** numai dacă se constată că soluțiile **IK** nu satisfac nevoile.

Ștergerea cheilor din animația anterioară

Dacă vreun membru al lanțului **IK** a fost animat în mod interactiv sau s-a executat anterior **Apply IK**, cheile de animație existente vor afecta noua soluție **IK**. Uneori este posibil exact acest lucru să se dorească. Animația manuală poate fi utilizată pentru a deplasa subtil soluția **IK** către un anumit rezultat. Cu toate acestea, este mai probabil să se dorească eliminarea cheilor vechi pentru a începe calculele **IK** cu o listă curată.

Opțiunea **Clear Keys** din caseta derulantă **Inverse Kinematics** controlează dacă vechile chei de animație de deplasare și rotire sunt sau nu eliminate.

Constrângerea soluției IK la cadre specifice

Câmpurile **Start** și **End** din caseta derulantă **Inverse Kinematics** sunt utilizate pentru a seta intervalul de cadre utilizate pentru a calcula soluția **IK** aplicată.

Folosind aceste câmpuri, soluțiile **IK** se pot restricționa la cadre specifice și se pot rezolva diferite soluții în segmente diferite de timp.

Câmpurile **Start** și **End** se pot seta să includă cadre în afara segmentului de timp activ.

De asemenea, o soluție **IK** poate fi constrânsă la cadrele în care există o cheie pentru un efector final. Acest lucru este util dacă se dorește animarea unei ierarhii folosind efectori finali, dar nu se dorește să fie generate chei pe fiecare cadru.

Pentru a limita soluția **IK** la cadre care au setate chei pentru efectori finali se utilizează caseta de validare **Apply Only To Keys**.

Urmărirea progresului soluției IK

În mod normal, acționarea butonului **Apply IK** calculează toate cadrele înainte de a actualiza ferestrele viewport.

Pentru a urmări progresul cadru cu cadrul în urma acționării butonului **Apply IK**, se activează caseta de validate **Update Viewports** în caseta derulantă **Inverse Kinematics**.

Actualizarea ferestrelor viewport încetinește foarte mult procesul **Apply IK**, dar poate ajuta la depanarea animațiilor complexe.

3.3. Controlul articulațiilor

Articulațiile (îmbinările) controlează rotația și poziția unui obiect față de părintele său.

3.3.1. Setarea parametrilor articulațiilor

Alegerea modului în care se comportă o îmbinare: ca o balama, o glisieră de sertar sau un alt tip de îmbinare, se realizează prin setarea parametrilor de îmbinare pentru fiecare obiect din lanțul cinematic. Articulațiile controlează rotația și poziția unui obiect față de părintele său.

Orice obiect are maximum două casete derulante pentru definirea tipului de îmbinare: o caseta derulantă conține setări pentru a controla poziția obiectului, iar o alta controlează rotația obiectului. De asemenea pot exista multe tipuri diferite de articulații de poziție și de rotație. Parametri de îmbinare disponibili sunt determinați de tipul de instrument **IK Solvers** alocat unui obiect. Spre exemplu, instrumentul **HI Solver**, conține setări preferate de unghi, ce se definesc cu ajutorul parametrilor din caseta derulantă **Rotational Joint**. Instrumentul **HD Solver** conține parametri suplimentari pentru revenire, precedență și amortizare, care nu se găsesc în instrumentul **HI Solver**.

Orice ierarhie de obiecte sau sisteme de schelete (obiecte **Bones**) poate avea limitele articulare definite. Pentru a defini modul de funcționare a unei articulații se selectează toate obiectele și se activează afișarea elementului de schelet (braț sau **Bone**) sau a legăturilor. Se selectează elementul de schelet sau legătura și se deschide sub-panoul **IK** din panoul **Hierarchy**. Derulând casetele **Sliding Joints** și **Rotational Joints**, se pot activa axele și se pot stabili limitele individuale.

Observație

Instrumente diferite **IK Solvers** folosesc limite de îmbinare diferite. Când se utilizează un schelet (sistem **Bones**) se recomandă adăugarea mai întâi a instrumentului **IK Solvers** și apoi setarea limitelor articulațiilor.

Tipuri comune de articulații

Cele mai comune tipuri de îmbinări sunt îmbinările de rotație și de

translație. Alte tipuri comune de îmbinări sunt îmbinările **Path** (restricție pe cale) și **Surface** (restricție pe suprafață). Fiecare tip de îmbinare afișează propriul set de parametri de îmbinare.

- Articulații de rotație – **Rotational Joints**

Acest tip de articulație permite controlul rotației obiectelor folosind o serie de controlerele standard de rotație. Parametrii articulațiilor de rotație stabilesc capacitatea unui obiect de a se roti în jurul unei axe date.

Pentru multe structuri **IK**, se ia în considerare utilizarea unui controler **Euler XYZ**. Alte controlerele tind să înghețe dacă un obiect este mutat dincolo de limitele articulației rotative înainte de a porni **IK**.

- Cuplele de translație – **Sliding Joints**

Acestea permit controlul poziției obiectelor folosind o serie dintre controlerele standard de poziție. Parametrii îmbinărilor de alunecare controlează dacă un obiect se poate mișca de-a lungul unei axe date.

- Restricțiile de suprafață – **Surface Joints**

Aceste restricții permit controlul poziției obiectelor utilizând constrângerea de suprafață (**Surface Constraint**). Parametrii controlează modul în care obiectul se deplasează de-a lungul suprafeței sale atribuite.

- Restricțiile de traseu – **Path Joints**

Acest tip de restricții permite controlul deplasării obiectelor folosind constrângerea de traseu (**Path Constraint**). Parametrii pentru restricțiile traseului controlează cât de departe poate parcurge un obiect de-a lungul căii atribuite (cât de mult se poate îndepărta un obiect de traseul dat).

Utilizarea parametrilor de articulație

Modul în care elementele copil se comportă unul față de celălalt este guvernat de moștenirea transformărilor de-a lungul lanțului. Stabilirea limitelor comune asupra obiectelor copil individuale poate influența această moștenire. Dacă trei elemente copii la rând au toate axele lor de rotație inactive, ele nu se vor putea roti și astfel o bucată din lanț va apărea rigidă. Sau dacă o singură axă este activată ca articulație de alunecare (cuplă de translație), componenta se poate separa în spațiu de lanț.

Când se utilizează un obiect cu o constrângere de cale (**Path Constraint**) într-un lanț **IK**, este posibil să se dorească ca traseul să apară ca și cum ar face parte din lanțul **IK**. Acest efect poate fi obținut legând obiectul folosind constrângerea **Path Constraint** și calea către același părinte. Obiectul traseu ar trebui să nu aibă copii, iar alte obiecte din lanțul **IK** ar trebui să fie legate de obiect folosind restricția **Path Constraint**.

Comenzile Copy și Paste pentru parametrii articulațiilor

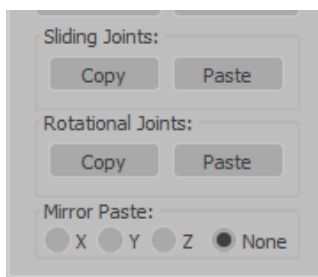


Fig. 3.10. Comenzile **Copy** și **Paste**

Pentru a folosi comenzile **Copy** și **Paste** pentru un set complet de parametri ai unei articulații de la un obiect la altul se pot folosi comenzile corespunzătoare aflate în partea inferioară a casetei derulante **Object Parameters** a panoului **Hierarchy**, fig. 3.10.

Există funcții separate **Copy** și **Paste** pentru cuplele de translație și cele de rotație. Fiecare tip de cuplă salvează parametrii copiați în clipboard-uri separate.

Observație

Se poate alege una dintre opțiunile **Mirror Paste** dacă se dorește reflectarea setărilor parametrilor cuplei pe măsură ce sunt re-aplicate (comanda **Paste**). Această opțiune este foarte utilă atunci când comanda **Paste** se folosește de pe o parte a unui obiect pe alta, cum ar fi articulațiile brațului stâng pe cele ale brațului drept.

De asemenea, este posibilă copierea setărilor comune de la un controler non-**IK** într-un controler **IK**, dar nu se pot copia de la un controler **IK** la un controler non-**IK**.

3.3.2. Activarea axelor articulațiilor

Modul în care un obiect se poate deplasa sau roti în jurul unei axe date se setează prin activarea casetei de validare **Active** din casetele derulante corespunzătoare articulațiilor. Articulațiile au maximum șase axe posibile: trei pentru rotație și trei pentru poziție. Constrângerea mișcării unei articulații se realizează prin stabilirea axelor active:

- o articulație cu toate axele active se poate mișca și roti liber, independent de părintele său;

- o articulație cu toate axele inactive este blocată la părintele său și nu se poate mișca independent;
- setarea axelor unei cuple **IK** suprascrive setările **Inherit** și **Lock** din panoul **Link Info**.

Înțelegerea orientării axei unei articulații

Axele unei cuple **IK** pentru un obiect sunt definite de axele locale ale părintelui obiectului. Aceasta înseamnă că dacă se activează axa X a parametrilor articulației de rotație a unui obiect, obiectul se rotește în jurul axei X a părintelui său, nu în jurul propriei sale axe X .

Este posibil să apară o problemă la setarea parametrilor articulației unui obiect al cărui sistem de coordonate local este orientat la 90° față de sistemul de coordonate al părintelui său. Într-un astfel de caz, unghiul de rotație în jurul unei axe devine nedeterminat. Rezultatul este că o axă va provoca adesea rotația în jurul uneia dintre celelalte două axe.

Următoarele tehnici vor face setarea parametrilor articulațiilor mai ușoară și mai reușită:

- asamblarea ierarhiei **IK** cu obiecte aliniate de-a lungul axelor **World**;
- luarea în considerare a utilizării funcțiilor **Adjust Pivot** pentru a alinia pivoții obiectului fie cu axele **World**, fie cu obiectul rădăcină al ierarhiei;
- setarea manipulatorilor de transformare la sistemul de coordonate părinte (**Parent**) și **Use Pivot Point Center**, în timp ce se setează parametrii articulației. Acest lucru va ajuta la a vedea orientarea axelor cuplei prin afișarea pictogramei axei părinte la punctul pivot al obiectului selectat;
- la activarea axelor cuplei, se poate acționa *spinner*-ul **From** în sus și în jos. Acest lucru va face ca obiectul să se miște sau să se rotească în jurul axei active și este o verificare rapidă dacă axa corectă a fost aleasă.

Activarea articulațiilor de rotație – Rotational Joints

La activarea parametrului **Active** pentru una dintre axele X , Y , Z ale unei articulații de rotație, obiectul se poate roti în jurul acelei axe a sistemului de coordonate al părintelui său.

Articulațiile care se rotesc după mai multe axe sunt foarte frecvente. O articulație sferică, ca și umărul uman, reprezintă o articulație de rotație activă în jurul tuturor celor trei axe. O articulație știft, ca și cotul uman, reprezintă o articulație de rotație activă după o singură axă.

Activarea cuplelor de translație – Sliding Joints

La activarea parametrului **Active** pentru una dintre axele X , Y , Z ale unei cuple de translație, obiectul se poate deplasa de-a lungul acelei axe a

sistemului de coordonate al părintelui său.

Majoritatea cuplelor de translație sunt active doar de-a lungul unei singure axe. Un telescop este un exemplu de cuplă de translație activă pe o singură axă. Rareori se întâlnește o articulație de translație care să fie activă de-a lungul tuturor celor trei axe.

Dacă o cuplă de translație este activă de-a lungul tuturor celor trei axe, se mișcă independent de părintele său. Este aproape ca și cum nu ar exista deloc o conexiune comună.

Observație

Atunci când este necesară existența cuplelor de translație cu **IK** se utilizează instrumentul **HD IK Solver**.

Restricții de tip Path și Surface

La activarea parametrului **Active** pentru restricțiile pe cale (**Path**) sau pe suprafață (**Surface**), se setează dacă obiectul se poate deplasa de-a lungul traseului sau suprafeței atribuite.

Un exemplu de restricție pe un traseu activ este reprezentat de o cheie pe un inel.

3.3.3. Limitarea deplasărilor și rotațiilor din articulații

Majoritatea articulațiilor sunt limitate în ceea ce privește domeniul lor de mișcare de-a lungul unei axe active. De exemplu: o balama se poate deschide doar la 120°; un piston alunecă numai pe lungimea cilindrului său. Pentru a limita intervalul de mișcare permis pe o axă activă, se activează parametrul **Limited** și se setează valori pentru câmpurile **From** și **To** din casele derulante corespunzătoare axei dorite.

De asemenea, limitele comune pot fi vizualizate în fereastra de viewport apăsând și menținând apăsat butonul mouse-ului de pe eticheta **From** sau **To** a unui câmp de limită. Obiectul se va muta sau se va roti la valoarea limită până când butonul mouse-ului se eliberează.

Limitarea articulațiilor de rotație

Limitele pentru o articulație de rotație definesc cât de mult se poate roti obiectul în jurul axelor părintelui său. Valorile din câmpurile **From** și **To** reprezintă unghiul de rotație în jurul axei active măsurat de la 0° pe obiectul părinte.

De exemplu, o articulație a cotului poate roti antebrațul față de brațul

superior, limitele de rotație a axei X fiind de la 0° la 135° iar axele Y, Z fiind inactive deoarece o articulație cot se rotește în jurul unei singure axe.

Limitarea culisării în cuplele de translație

Limitele unei cuple de translație definesc cât de departe se poate deplasa o îmbinare de-a lungul axelor părintelui său. Valorile din câmpurile **From** și **To** reprezintă o distanță de mișcare de-a lungul axei active măsurată de la punctul pivot al părintelui până la punctul pivot al obiectului selectat.

De exemplu, o cuplă de alunecare pe un piston deplasează pistonul în interiorul și în afara cilindrului. Într-o asemenea situație, limitele mișcării axei Z pot fi de la 10 la 90. În acest fel se împiedică ca pistonul să lovească fundul sau să treacă de capătul cilindrului.

Limitarea cuplelor Path și Surface

Limitele pentru cuplele **Path** și **Surface** definesc cât de departe se poate deplasa un obiect de-a lungul unui traseu sau a unei suprafețe. Valorile din câmpurile **From** și **To** reprezintă un procent din distanța totală măsurată de-a lungul traseului sau suprafeței.

De exemplu, o îmbinare de tip **Path** pentru o cheie permite deplasarea cheii de-a lungul unui inel de chei. Setarea limitelor îmbinării traseului de la 5% până la 95% împiedică cheia să se deplaseze de-a lungul inelului în zona unde acesta este atașat.

4. CINEMATICA DIRECTĂ

Metoda implicită de manipulare a unei ierarhii folosește tehnica numită cinematică directă [2, 9].

Principiile de bază folosite de tehnica cinematicii directe sunt:

- legarea ierarhică de la părinte la copil;
- plasarea punctelor pivot pentru a defini îmbinarea de legătură între obiectele legate;
- moștenirea funcțiilor de transformare a poziției, rotației și scării de la părinte la copil.

Animația obiectelor unei ierarhii se realizează în același mod în care se realizează orice animație. Se activează butonul **Auto Key** și se aplică funcții de transformare membrilor ierarhiei la diferite cadre. Cu toate acestea, trebuie avute în vedere câteva probleme speciale pentru animarea ierarhiilor.

În cinematica directă, atunci când un obiect părinte se deplasează, copiii săi trebuie să-l urmeze. Dacă copilul vrea să plece singur, părintele rămâne în urmă. De exemplu, într-o legătură ierarhică a unei figuri umane, când trunchiul (părintele) se aplecă, capul (copilul) se mișcă odată cu el, dar se poate întoarce capul fără a afecta trunchiul.

Cum funcționează legăturile și punctele pivot

Odată ce două obiecte sunt legate între ele, obiectul copil își menține poziția, rotația și transformările la scară în raport cu obiectul părinte. Aceste transformări sunt măsurate de la pivotul părintelui la pivotul copilului.

Obiectele părinte și copil sunt legate prin punctele lor pivot.

Legăturile acționează ca un canal unidirecțional pentru a transmite transformările unui obiect părinte către obiectul său copil. Dacă se deplasează, rotește sau scalează părintele, copilul este deplasat, rotit sau scalat cu aceeași cantitate. Deoarece legăturile ierarhice sunt unidirecționale, deplasarea, rotirea sau scalarea copilului nu are niciun efect asupra părintelui său. Rotirea părintelui afectează poziția și orientarea obiectului copil. Rotirea copilului nu afectează părintele.

Rezultatul final este că transformările aplicate unui obiect copil sunt aplicate în plus față de orice transformări moștenite de la părintele copilului.

Animarea unui obiect părinte

Doar funcțiile de transformare sunt transmise de la părinte la copil. Animarea unui obiect părinte utilizând deplasarea, rotirea sau scalarea animează părintele și subarboarele atașat părintelui.

Animarea funcțiilor de modificare sau a parametrilor de creare ai unui părinte nu are niciun efect asupra descendenților săi.

Deplasarea părintelui rădăcină conduce la deplasarea întregii ierarhii.

Rotirea unui obiect părinte este transmisă tuturor obiectelor copil.

Animarea unui obiect copil

Cu cinematica directă, un copil nu este constrâns de legătura sa cu un părinte. Obiectele copiii se pot deplasa, roti și scala independent de părinții lor.

Deplasarea ultimului obiect copil nu afectează niciunul dintre obiectele anterioare din ierarhie.

Rotirea unui obiect copil în mijlocul ierarhiei îi afectează pe toți descendenții, dar pe niciunul dintre părinți.

Dacă se dorește manipularea obiectelor părinte prin deplasarea ultimului copil din lanț, se recomandă utilizarea cinematicii inverse.

Manipularea Ierarhiei

Un obiect copil moștenește transformările părintelui său, iar părintele moștenește transformările strămoșilor săi, în sus în ierarhie până la obiectul rădăcină. Deoarece cinematica directă utilizează această metodă de moștenire, se recomandă poziționarea și animarea ierarhiilor folosind o metodă de sus în jos.

Întotdeauna se începe transformarea obiectelor de la cel mai înalt nivel, părinte afectat de mișcare și se merge în jos în ierarhie până la ultimul copil.

Folosirea cinematicii directe permite un control considerabil asupra plasării exacte a fiecărui obiect din ierarhie. Cu toate acestea, procesul poate deveni plictisitor cu ierarhii mari și complexe. În astfel de situații, este posibil să se dorească utilizarea cinematicii inverse.

4.1. Utilizarea obiectelor false Dummy

Utilizarea principală a obiectelor false de tip *helper* (**Dummy**) este de a ajuta la crearea de mișcări complexe și la construirea de ierarhii complexe. Deoarece obiectele false sunt invizibile atunci când sunt randate, ele

reprezintă o alegere excelentă pentru îmbinări decalate, conectori între obiecte și manipuloare pentru ierarhii complexe. Obiectele **Dummy** și **Point** pot acționa ca obiecte nule care funcționează ca controale pentru transformarea părților unui lanț **IK** [2, 8].

Folosirea unui obiect fals pentru a controla mișcarea

Descompunerea mișcărilor complexe în componente simple facilitează deseori procesul de revenire și editare a animațiilor.

Dacă se consideră o minge care sare de-a lungul unei căi, se poate anima mingea poziționând-o pe mai multe cadre, dar ar fi foarte dificilă întoarcerea pentru reglarea înălțimii săriturii sau a traseului mingii. Pentru aceasta trebuie să se realizeze editarea mișcării mingii pe multe cadre pentru a face chiar și o simplă schimbare.

Folosirea unui obiect fals rezolvă această problemă prin împărțirea mișcării în componente simple. O componentă este săritura în sus și în jos a mingii iar cealaltă este deplasarea pe cale.

Combinarea mișcării de săritură a mingii cu mișcarea înainte a unui obiect fals are ca rezultat o minge care sare în mișcare.

Folosirea unui obiect fals pentru manipulare

Această situație se întâlnește când se dorește deplasarea și animarea unei selecții de obiecte în mod individual, dar să existe și capacitatea de a le transforma ca un singur obiect.

Un bun exemplu în acest sens este reprezentat de o cameră pe un trepied. Se poate dori atât ajustarea camerei, cât și a țintei sale în mod individual, dar se dorește și să deplasarea acestora împreună ca o singură unitate.

Proceduri

Pentru a crea o mișcare complexă de respingere folosind un obiect fals se parcurg următoarele etape:

1. se creează o sferă, apoi se creează un obiect **Dummy** sub sferă și se leagă sfera ca un copil al obiectului fals;
2. se animează sfera care sare în sus și în jos deasupra obiectului fals;
3. se animează obiectul fals în deplasare.

Sfera sare deasupra obiectului fals pe măsură ce obiectul se deplasează în jurul scenei. Înălțimea și viteza săriturii se poate modifica cu ușurință modificând animația sferei. De asemenea se poate modifica calea din scenă modificând animația obiectului fals.

Pentru a crea un trepied pentru cameră:

- se creează un obiect fals sub o cameră țintă și se conectează camera și ținta ca copii ai obiectului fals.
Camera și ținta urmăresc obiectul fals. Camera se poate poziționa rapid prin plasarea obiectului fals și se poate compune vederea ajustând camera și ținta acesteia.

4.2. Animarea legăturilor

Pentru a anima legăturile de la un părinte la altul se atribuie o restricție de tip **Link Constraint**. Utilizarea unei restricții de legătură se aplică în locul utilizării butoanelor obișnuite **Select and Link** și **Unlik Selection** din bara de instrumente [2, 3, 8].

Un exemplu de utilizare a unei constrângeri de tip legătură este reprezentată de trecerea unei mingi dintr-o mână în alta. Să presupunem că la cadrul 0 mingea este în prima mână. Mâinile sunt animate să se întâlnească la cadrul 50 și apoi se despart până la cadrul 100.

Pentru a anima link-urile pentru mingi:

1. În panoul **Motion** se atribuie o constrângere **Link** ca controler de transformare a mingii. De asemenea, se poate atribui o constrângere **Link** pe minge folosind meniul **Animation**, alegând sub-meniul **Constraints** iar în final selectând **Link Constraint**.
2. Se alege cadrul 0, apoi pe panoul **Motion** se execută clic pe **Add Link** și apoi clic pe mâna care ține mingea. Mingea se va mișca acum împreună cu mâna, ca și cum ar fi legată de aceasta.
3. Se trage cursorul de timp în cadrul 50, unde se dorește ca mâna a doua să ridice mingea, se execută clic pe **Add Link**, apoi clic pe mâna a doua. De la acest cadru, parcă mingea ar fi legată de mâna a doua.

Când se redă animația, mingea se deplasează cu prima mână până la cadrul 50, unde s-a adăugat a doua legătură, apoi mingea este trecută în mâna a doua pentru restul animației.

Adăugarea și ștergerea link-urilor

Pentru a adăuga și șterge link-uri din panoul **Motion** se extinde caseta derulantă **Link Parameters** și se execută clic pe **Add Link** sau **Delete Link**.

- Se execută clic pe **Add Link**, apoi se execută clic pe obiectul cu care se dorește conectarea ca părinte. Cadrul la care este adăugată legătura este

cadrul la care este transmis controlul. Cadrul legăturii se poate modifica cu parametrul **Start Time**.

- Se execută clic pe numele unui obiect părinte din listă, apoi se execută clic pe **Delete Link** pentru a elimina legătura.

Proprietățile constrângerii **Link** includ:

- constrângerea **Link** respectă setările de moștenire a legăturii aplicate obiectului copil;
- obiectul care utilizează o constrângere **Link** nu este un obiect copil adevărat; acesta nu apare în subarboarele niciunui obiect părinte legat;
- obiectele cu constrângere **Link** nu participă la soluțiile **IK**.

Link to World

De asemenea, este posibilă legarea unui obiect la sistemul global folosind butonul **Link to World**. Acest lucru va menține obiectul staționar fără a utiliza un obiect fals. Doar se execută clic pe **Link to World** și sistemul global este introdus automat ca țintă.

Moduri cheie – Key Mode

Se poate alege între trei moduri de cheie diferite, care determină modul în care cadrele cheie sunt scrise pe obiectele legate ca parte a constrângerii de legătură. Aceste opțiuni sunt următoarele:

No Key Mode

Nu sunt create chei pentru niciunul dintre obiectele implicate. Nicio cheie nu va fi vizibilă în bara de urmărire.

Key Nodes

Setează cheile pentru unele dintre obiecte. Opțiunea **Child** aplică cheile numai obiectului copil. Opțiunea **Parents** aplică chei atât părinților, cât și obiectului copil.

Key Entire Hierarchy

Această opțiune aplică cadre cheie nodurilor alese și întregii lor ierarhii. Opțiunea **Child** adaugă chei obiectului ales și nodurilor din ierarhia lui spre sistemul global. Opțiunea **Parents** adaugă chei atât părintelui cât și copilului și tuturor celor trei ierarhii spre sistemul global.

Efectele secundare ale constrângerii Link Constraint

Constrângerea **Link** funcționează pentru a împiedica un obiect copil să sară din poziție în momentul în care legătura se schimbă de la un părinte la altul.

Luând în considerare exemplul anterior, următoarele aspecte ar trebui să fie adevărate:

- în timpul cadrelor de la 0 la 50, mingea rămâne constantă față de prima mână;
- în timpul cadrelor 50 până la 100, mingea rămâne constantă în raport cu mâna a doua;
- la cadrul 50, momentul în care controlul legăturii se schimbă, mingea nu sare.

Dacă se modifică animația celei de a doua mâinii la cadrul 75, aceasta afectează poziția mâinii față de minge în momentul legăturii (cadrul 50). Această modificare a poziției relative afectează mingea peste toate cadrele în care este legată de cea de a doua mână. Prin urmare, pe măsură ce se schimbă poziția mâinii la cadrul 75, se va schimba și poziția copilului, eventual într-un mod contra-intuitiv. Cu toate acestea, atunci când se redă animația, cele trei reguli de mai sus vor fi valabile.

4.3. Ajustarea transformărilor obiectelor

Pentru a transforma obiectele după ce acestea au fost legate – fără a transforma descendenții – și pentru a reseta transformarea unui obiect se folosesc funcțiile din caseta derulantă **Adjust Transform** (panoul de comandă **Hierarchy**, butonul **Pivot**).

Transformarea obiectelor părinte

După conectarea unui număr de obiecte s-ar putea să se descopere că este necesară deplasarea, rotirea sau scalarea unui obiect părinte, dar nu se dorește să fie afectați descendenții obiectului. Transformarea un obiect părinte, fără a-i afecta descendenții, este posibilă executând clic pe butonul **Don't Affect Children** din caseta derulantă **Adjust Transform** a panoului **Hierarchy**.

Resetarea orientării și scalării unui obiect

Pentru a roti pivotul unui obiect astfel încât acesta să se potrivească cu sistemul de coordonate local al părintelui său, se execută clic pe butonul **Transform** al grupului **Reset**. Descendenții obiectului nu sunt afectați.

Resetarea doar a scării unui obiect

Pentru a seta valoarea de scară curentă ca valoare de scară de bază a obiectului selectat, se execută clic pe butonul **Scale** al grupului **Reset**. Toate transformările de scară următoare sunt apoi aplicate folosind valoarea scării

de bază ca o scară locală absolută de 100%.

Dacă se consideră o sferă cu o rază de 20 de unități și un obiect copil legat:

1. se folosește butonul **Uniform Scale** pentru a scala sfera la 200%; sfera și copilul ei devin de două ori mai mari; **Scale Transform Type-In** raportează o scară locală absolută de 200%, iar parametrii de creare a obiectului raportează o rază de 20 de unități; raza reală a sferei este de 200% din 20 de unități, respectiv 40 de unități;
2. se selectează sfera și se execută clic pe **Reset Scale**; sfera și copilul ei rămân de aceeași dimensiune; iată ce s-a întâmplat:
scara de 200% a fost absorbită de sferă ca stare inițială; sfera are o rază reală de 40 de unități, parametrii de creare raportează o rază de 20 de unități, iar scara locală absolută este de 100%;
obiectul copil al sferei acceptă o scară locală de 200%, astfel încât nu se modifică în dimensiune.

Resetarea scării unui obiect poate duce la confuzie, deoarece dimensiunea reală a obiectului, scara locală absolută și parametrii de creare nu se mai potrivesc.

Folosirea utilitarului Reset Transform

Resetarea orientării și a scării unui obiect se poate obține făcând clic pe **Reset XForm** din panoul **Utilities**. **Reset XForm** preia transformările de rotație și scară ale unui obiect și le plasează într-un modificador **XForm** în stiva de modifikatori.

Se consideră aceeași sferă ca înainte cu o rază de 20 de unități și un obiect copil legat:

1. se folosește **Uniform Scale** pentru a scala sfera la 200%; sfera și copilul ei devin de două ori mai mari; **Scale Transform Type-In** raportează o scară locală absolută de 200%, iar parametrii de creare raportează o rază de 20 de unități; raza reală a sferei este de 200% din 20 de unități, respectiv 40 de unități;
2. se selectează sfera și se execută clic pe **Reset XForm**; sfera rămâne de aceeași dimensiune, dar copilul său revine la dimensiunea și poziția inițială; iată ce s-a întâmplat:
scara de 200% a fost plasată într-un modificador **XForm** în stiva de modifikatori a sferei; sfera are o rază reală de 40 de unități, parametrii de creare raportează o rază de 20 de unități, iar scara locală absolută este de 100%;

obiectul copil al sferei vede acum doar scara locală 100%, astfel încât revine la dimensiunea și poziția sa inițială.

4.4. Blocarea transformărilor obiectelor

Capacitatea unui obiect de a deplasa, roti sau scala în jurul oricăreia dintre axele sale locale, se poate bloca selectând obiectul și apoi setând opțiunile aferente din caseta derulantă **Locks** a panoului **Hierarchy**.

Activarea și dezactivarea axelor de transformare locale este denumită și setarea gradelor de libertate (*DoF*) pentru un obiect. Dacă o axă este activată, un obiect este liber să se transforme în jurul acelei axe locale.

Caseta derulantă **Locks** conține trei grupuri: câte unul pentru deplasare (**Move**), rotire (**Rotate**) și scalare (**Scale**). Fiecare grup conține trei opțiuni, câte una pentru axele locale **X**, **Y** și **Z** ale obiectelor selectate.

- Când axele sunt activate, obiectele nu pot fi transformate în jurul axelor locale selectate atunci când se utilizează în mod direct unul dintre instrumentele de transformare.

Obiectele pot fi totuși transformate prin alte mijloace, cum ar fi un copil al unui obiect părinte transformat sau să facă parte dintr-un lanț cinematic invers.

- Când sunt dezactivate, obiectele pot fi transformate liber în jurul axelor locale deblocate.

4.5. Modificarea moștenirii legăturilor

Legăturile pot transmite informații de transformare de la un părinte la un copil. În mod implicit, un copil moștenește toate transformările părintelui său. Pentru a seta capacitatea unui obiect de a moșteni deplasarea, rotirea și scalarea transformărilor părintelui său, se utilizează caseta derulantă **Inherit** din panoul **Hierarchy**; setările sale sunt utilizate pentru a limita transformările care sunt moștenite de un copil.

Caseta derulantă **Inherit** este disponibilă numai atunci când este selectat un singur obiect. Când sunt selectate mai multe obiecte, caseta derulantă este dezactivată.

Setarea opțiunilor de moștenire a link-urilor

Opțiunile **Inherit** sunt setate pentru a elibera componentele link-ului dintre un obiect selectat și părintele acestuia, pentru orice axă globală de deplasare (**Move**), rotire (**Rotate**) sau scalare (**Scale**).

Opțiunile care apar atunci când se extinde caseta derulantă **Inherit** sunt determinate de controlerele de transformare alocate obiectului selectat.

Caseta derulantă **Inherit** pentru obiecte care utilizează controlere standard de poziție, rotație și scalare conține trei grupuri: câte unul pentru deplasare (**Move**), rotire (**Rotate**) și scalare (**Scale**). Fiecare grup conține trei opțiuni, câte una pentru axele globale **X**, **Y** și **Z**.

- Când axele sunt activate, informațiile de transformare de la părinte sunt transmise copilului pentru axele globale (*World*) selectate.
- Când axele sunt dezactivate, informațiile de transformare pentru axele selectate sunt ignorate de copil.

Spre exemplu se consideră că se animează o roată *Ferris* care se rotește după axa globală **Y**. Roata este părintele, iar mașinile sunt copiii acesteia. Deoarece se dorește ca mașinile să ignore rotația pe axa **Y** a roții, altfel pasagerii ar cădea cu toții, se folosește **Link Info** pentru a dezactiva opțiunea axa **Y** din grupul **Rotation** al casetei derulante **Inherit** pentru fiecare mașină.

Utilizarea utilitarului Link Inheritance

Utilitarul **Link Inheritance** funcționează exact la fel ca și caseta derulantă **Inherit** din grupul **Link Info** al panoului **Hierarchy**, cu excepția faptului că se poate seta moștenirea link-ului pentru mai multe obiecte dintr-un set de selecție.

De exemplu, pe o roată *Ferris*, se pot selecta toate mașinile și se poate utiliza utilitarul **Link Inheritance** pentru a dezactiva rotația pe axa **Y** pentru toate mașinile simultan.

5. ANIMAȚIA LANȚURILOR CINEMATICE

5.1. Diferența dintre cinematica directă și cinematica inversă

În *3ds Max*, așa cum se întâmplă în multe alte aplicații de modelare și animație 3D, cinematica directă și cinematica inversă sunt două concepte cheie legate de animația articulațiilor sau elementelor într-un schelet (*rig*) pentru personaje sau obiecte. Mai jos se revine cu o explicație a diferenței dintre ele [1, 2].

Cinematica directă (Forward Kinematics - FK)

- Cu cinematica directă, se stabilesc pozițiile și unghiurile individuale ale articulațiilor sau elementelor de schelet pentru a crea o anumită poziție finală a unui personaj sau obiect.
- Animarea cu **FK** implică configurarea manuală a fiecărei articulații într-un anumit moment în timp. De exemplu, pentru a face ca brațul unui personaj să se miște, animatorul va ajusta rotația umărului, cotului și încheieturii separat pentru fiecare cadru al animației.
- **FK** este utilă pentru animații precise și control total asupra fiecărei articulații. Este de obicei folosită în animații mai simple sau atunci când animatorul dorește controlul direct asupra fiecărei mișcări.

Cinematica inversă (Inverse Kinematics – IK)

- Cu cinematica inversă, animatorul stabilește poziția finală dorită a unui punct (de obicei, vârful lanțului cinematic) și apoi sistemul calculează automat unghiurile și rotațiile articulațiilor pentru a atinge acea poziție finală.
- **IK** este folosită pentru a simula mișcări mai naturale și eficiente ale personajelor sau obiectelor, precum mersul, prinderea obiectelor, etc.
- În *3ds Max*, se poate crea un lanț cinematic **IK**, unde articulațiile sunt conectate într-un lanț și sistemul calculează automat mișcările articulațiilor pentru a atinge ținta.

În concluzie, diferența principală constă în modul în care animatorul

controlează mișcarea articulațiilor. Cu cinematica directă, animatorul controlează direct rotația fiecărei articulații, în timp ce cu cinematica inversă, animatorul stabilește poziția finală dorită și sistemul calculează automat mișcările articulațiilor pentru a atinge acea poziție. Ambele metode au avantaje și dezavantaje și pot fi folosite în funcție de necesitățile specifice ale proiectului de animație.

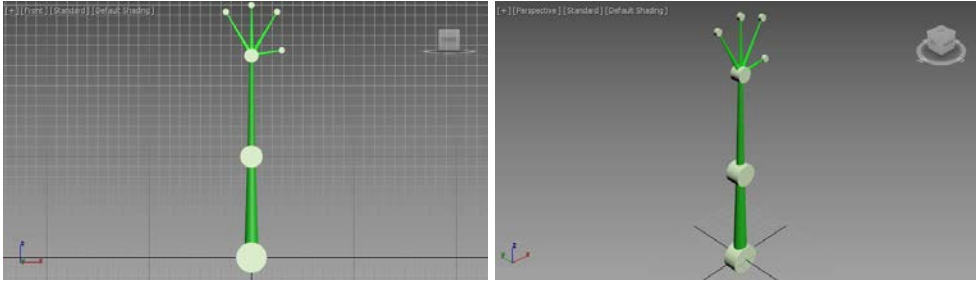


Fig. 5.1. Crearea lanțului cinematic

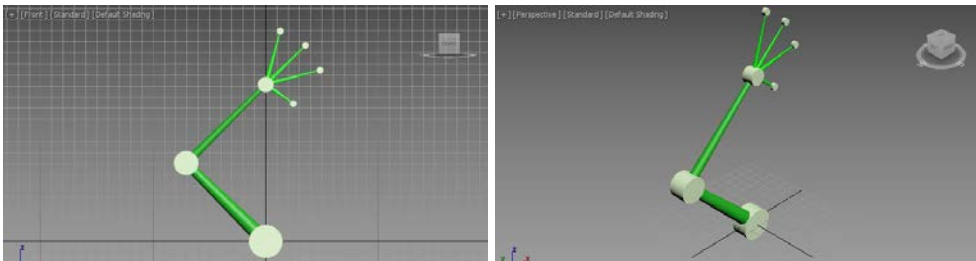


Fig. 5.2. Verificarea legăturilor lanțului cinematic

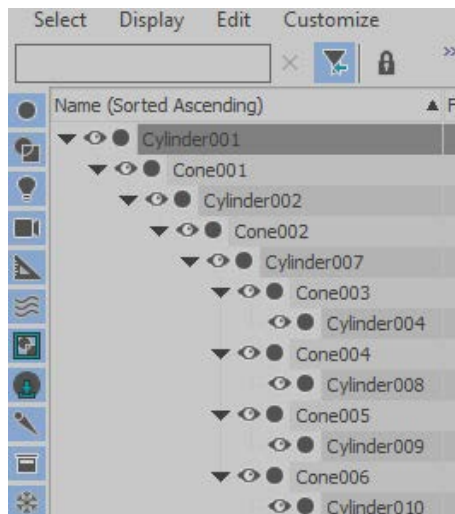


Fig. 5.3. Structura lanțului cinematic în fereastra *Scene Explorer*

Pentru exemplificarea acestei diferențe se propune următorul exemplu.

1. Crearea unui lanț cinematic (a unui schelet); înainte de a aplica cinematica directă sau cinematica inversă, este necesară crearea unui lanț cinematic (schelet) sau a unei structuri de oase pentru personajul sau obiectul dorit; acest exemplu propune realizarea lanțului cinematic din obiecte standard (cilindri pentru articulații și conuri pentru brațe), fig. 5.1.
2. Deoarece nu s-a realizat un sistem **Bones**, următoarea etapă constă din legarea obiectelor realizate cu ajutorul butonului **Select and Link** din bara principală de instrumente; s-au legat fiecare dintre cilindri superiori de conurile aferente (cele patru “degete”) iar apoi fiecare con superior de articulația din intersecția acestora; ordinea legării a continuat în ordinea brațelor și a articulațiilor, sfârșind cu articulația mare de la bază.

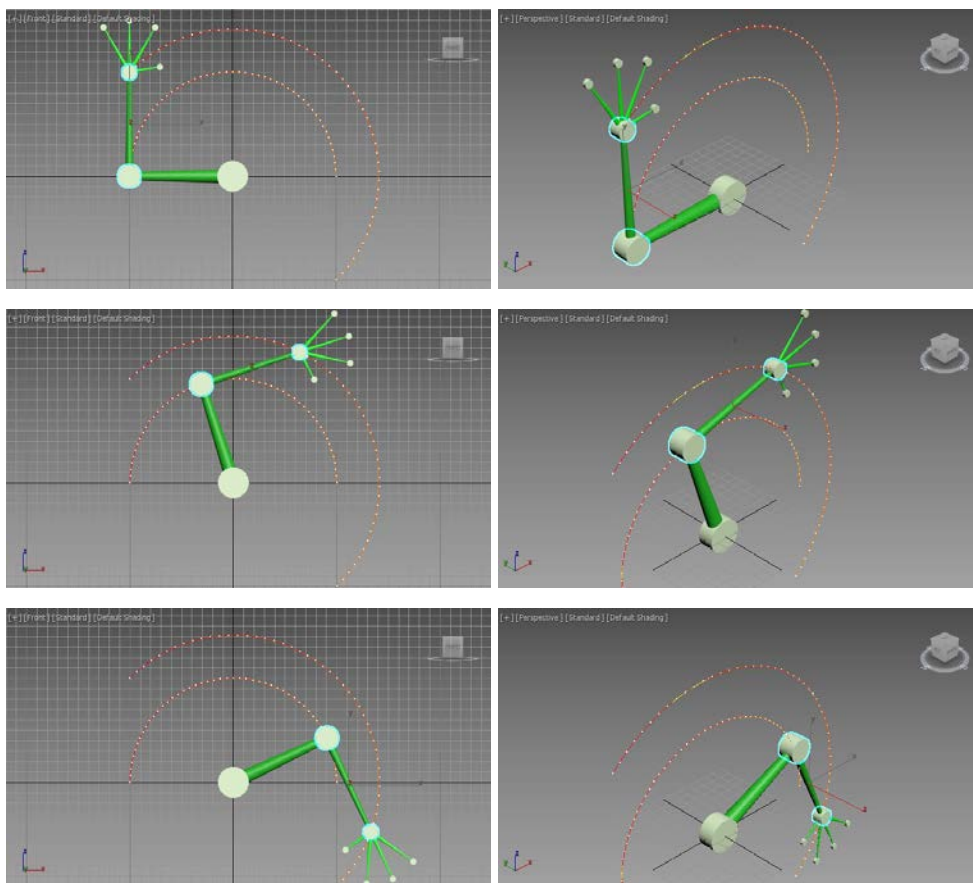


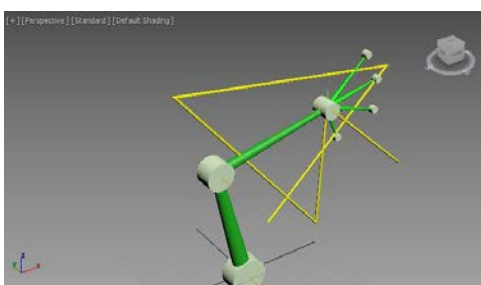
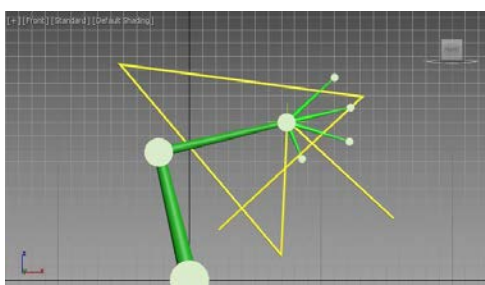
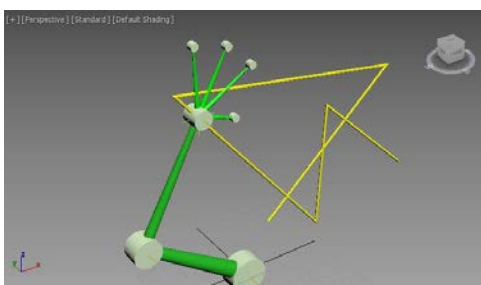
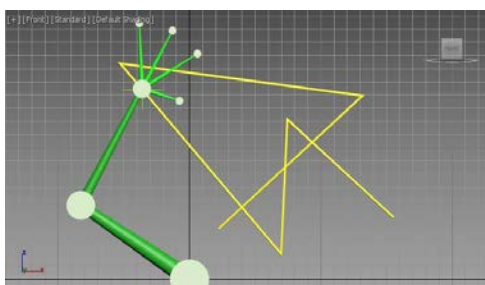
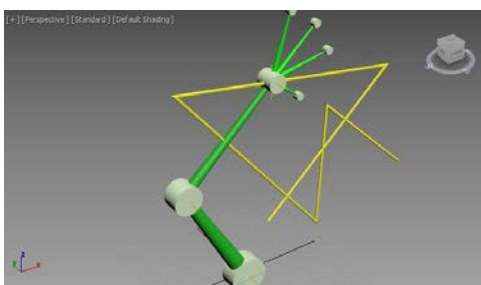
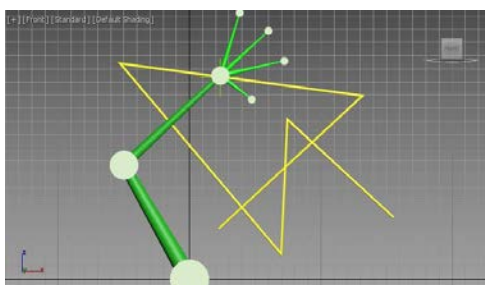
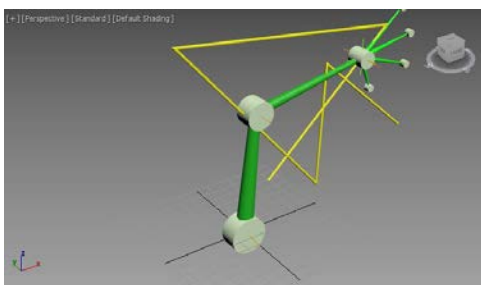
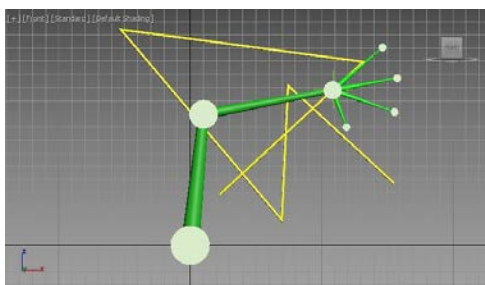
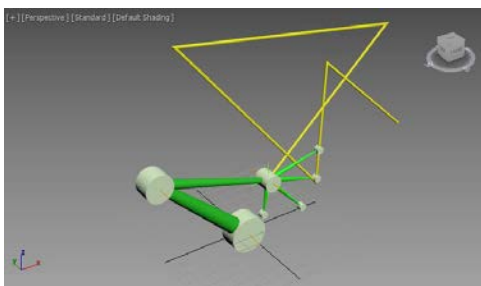
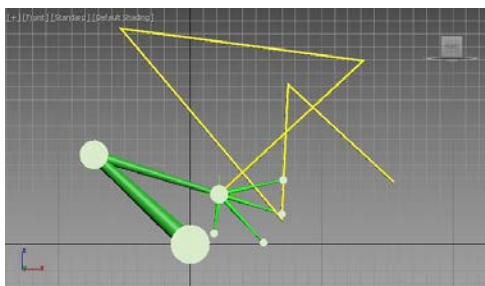
Fig. 5.4. Aplicarea cinematicii directe – atribuirea de mișcare articulației de la bază

3. Verificarea procesului de legare; după ce s-a creat lanțul cinematic legat, se selectează una dintre articulații sau un braț și i se aplică o funcție de transformare (deplasare sau rotație), fig. 5.2.
Verificarea modului de legare al obiectelor, respectiv a ierarhiilor create, se poate vizualiza și în fereastra **Scene Explorer**, fig. 5.3.
4. Selectarea articulației de control pentru cinematica directă; se selectează articulația sau brațul care se dorește a fi controlat în mod direct; pentru exemplul prezentat s-a considerat articulația de la bază.
5. Rotirea articulației; folosind instrumentele de transformare (respectiv instrumentul de rotire) se rotește sau se deplasează articulația pentru a configura poziția și unghiul dorit.
6. Setarea de chei pentru rotirea articulației bazei; se setează chei pentru pozițiile dorite.
7. Vizualizarea animației; în fig. 5.4 se poate vizualiza animația; în orice moment se poate reveni și ajusta oricare dintre chei pentru a face modificări.

Figura 5.4 prezintă de asemenea și traiectoriile pentru cea de a doua și a treia articulație de la bază; se poate observa că rotirea articulației părinte de la bază nu conduce la o modificare a obiectelor copil față de părintele ascendent; practic rotația articulației de la bază provoacă rotirea întregului lanț cinematic păstrându-se aceleași unghiuri între elementele componente ale acestuia.

Revenind la structura din fig. 5.2, în continuare se propune aplicarea cinematicii inverse.

1. Aplicarea instrumentului **IK Solvers – HI Solver**; se selectează cea de a treia articulație de la bază, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și apoi comanda **HD Solver**; se trage peste articulația bazei.
2. Stabilirea mișcărilor din cuple și brațe; în panoul **Hierarchy** se setează ca activă doar rotația după axa *Y* pentru articulații, respectiv rotația după axa *Z* pentru brațe.
3. Reprezentarea unei traiectorii pentru efector; pentru prezentul exemplu s-a creat o linie frântă.
4. Cu ajutorul panoului **Motion** se atribuie pentru efector (cea de a treia articulație de la bază) un controler de mișcare de tip **Path Constraint** și i se atribuie traiectoria creată anterior.
5. Vizualizarea animației; în fig. 5.5 se poate vizualiza animația.



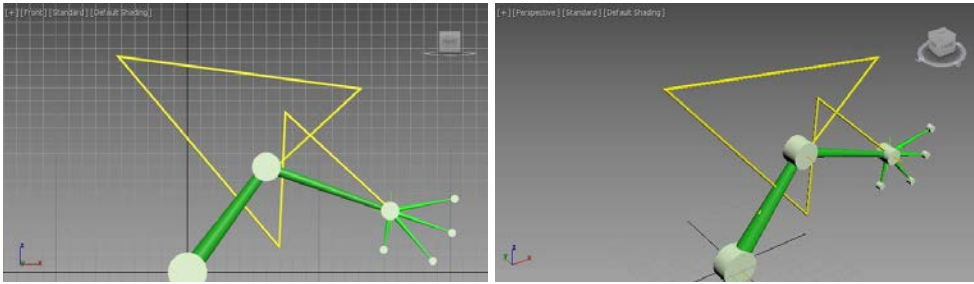


Fig. 5.5. Aplicarea cinematicii inverse – atribuirea de mișcare efectorului

În fig. 5.5 se prezintă simularea lanțului cinematic când efectorul parcurge traiectoria liniară; se poate observa că fiecare nouă poziție a efectorului provoacă diferite configurații între obiectele copil față de părintele ascendent; practic fiecare nouă poziție a efectorului provoacă diferite rotații ale articulațiilor și ale brațelor lanțului cinematic, unghiurile dintre elementele componente ale acestuia fiind mereu diferite.

5.2. Animația unui mecanism $R \parallel R \parallel R \parallel R$

Pentru următoarea aplicație se propune simularea funcționării unui mecanism patrulater articulat plan. Înainte de a începe construcția mecanismului se menționează faptul că lungimile brațelor au fost alese astfel încât acesta să funcționeze corect la o rotație completă a primului braț. Astfel lungimile brațelor au valorile de 50, 140 respectiv 150 iar distanța dintre prima și ultima articulație este de 230, fig. 5.10 [1].

Varianta de simulare 1

Materializarea articulațiilor s-a realizat în viewport-ul **Front**, folosind obiecte standard de tip **Cylinder** pentru care s-au ales următoarele valori ale parametrilor: **Radius**: 15 (pentru prima și ultima articulație), **Radius**: 11 (pentru cea de a doua și cea de a treia articulație) iar **Height**: 15. Pivotul celor patru cilindri s-a deplasat în centrul înălțimii. Punctele de coordonate ale celor patru cilindrii sunt: (0, 0, 0), (0, 0, 50), (0, 0, 190), (0, 0, 340), fig. 5.6.

Construirea brațelor se va realiza în viewport-ul **Top**, pentru materializarea acestora alegându-se primitive de tip **Cone**. Pentru parametrii

celor trei brațe s-au ales următoarele valori ale parametrilor: **Radius 1:** 4, **Radius 1:** 2 (pentru toate brațele) și **Height:** 50, **Height:** 140 respectiv **Height:** 150. Punctele pivot ale acestor conuri sunt $(0, 0, 0)$, $(0, 0, 50)$, $(0, 0, 190)$, fig. 5.6.

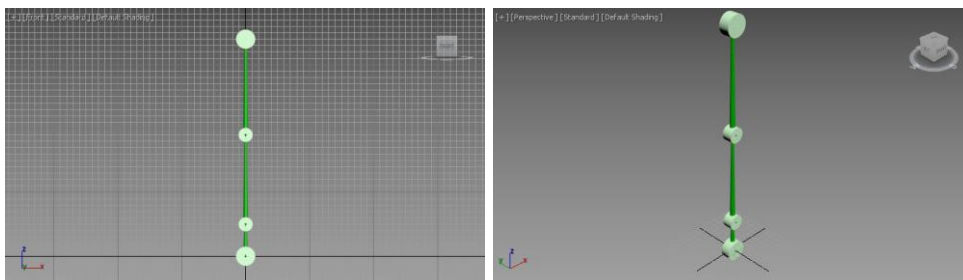


Fig. 5.6. Modelarea geometrică a mecanismului

Construcția mecanismului s-a realizat de jos în sus respectiv numerotarea obiectelor este tot de jos în sus. Se menționează acest aspect deoarece în fig. 5.7 este prezentată ierarhia obiectelor după legare.

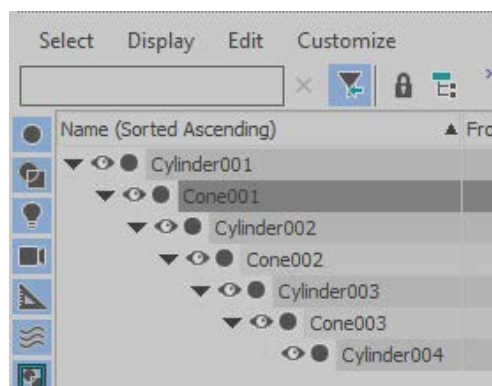


Fig. 5.7. Ierarhia lanțului cinematic

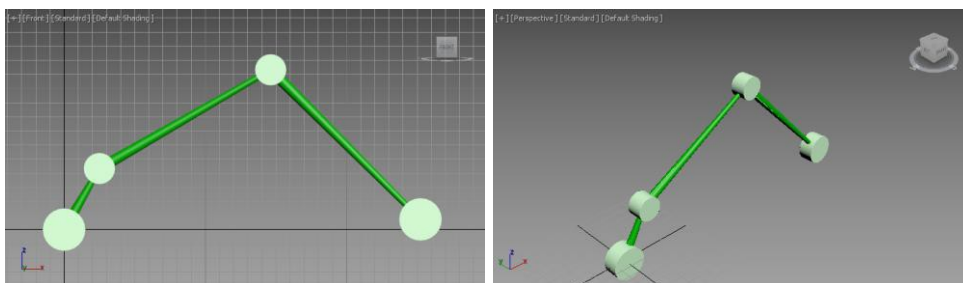


Fig. 5.8. Verificarea legării elementelor componente

Legarea obiectelor s-a realizat de sus în jos de la articulația cea mai de sus spre cea de la bază, succesiv în ordinea articulație – braț, folosind comanda **Select and Link** din bara de instrumente.

În acest moment se poate verifica dacă legarea obiectelor s-a realizat corect, pentru aceasta propunându-se aplicarea de funcții de transformare (în acest caz de rotații) brațelor din lanțul cinematic, fig. 5.8.

În următoarea etapă se aplică cinematica inversă; pentru aceasta se selectează ultima articulație din lanț, se deschide meniul **Animation**, submeniul **IK Solvers**, comanda **HD Solver** și se trage mouse-ul peste primul braț, fig. 5.9.

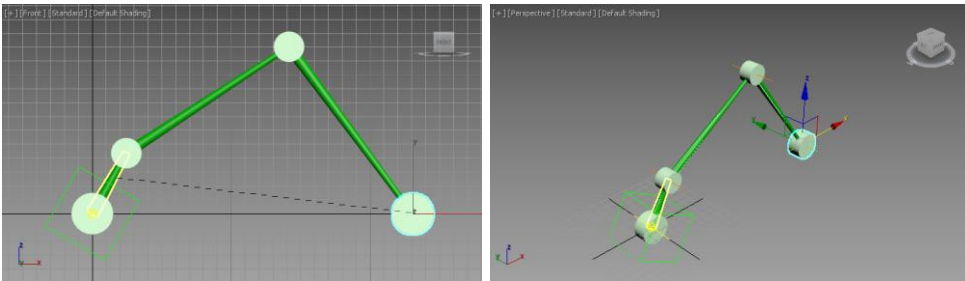


Fig. 5.9. Aplicarea instrumentului *HD Solver*

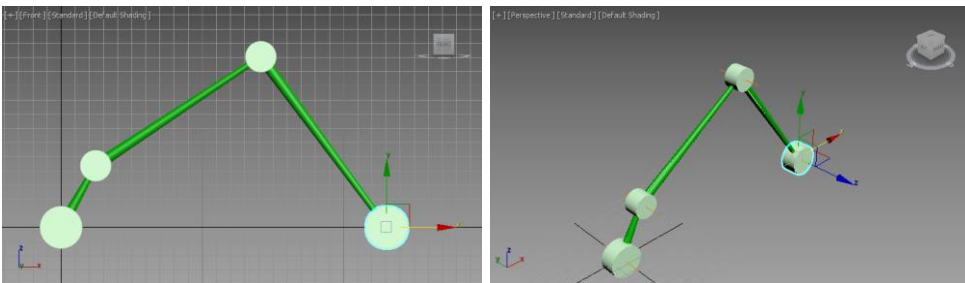


Fig. 5.10. Setarea poziției ultimei articulații

După aplicarea instrumentului **HD Solver**, înainte de orice transformare a efectorului lanțului cinematic (ultima articulație, respectiv cea din dreapta de această dată, fig. 5.9) este necesară stabilirea parametrilor din articulații și brațe.

Pentru aceasta, selectând pe rând fiecare articulație și braț se activează rotațiile corespunzătoare în panoul de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Rotational Joints**, respectiv se marchează caseta de validare **Active** pentru **Y Axis** în cazul articulațiilor (cilindrilor) și caseta de validare **Active** pentru **Z Axis** în cazul brațelor (conurilor).

În acest moment se poate seta poziția ultimei articulații în punctul de coordonate (230, 0, 0), această transformare influențând pozițiilor tuturor elementelor din lanțul cinematic, fig. 5.10.

Setarea acestei valori a distanței dintre prima și ultima articulație are în vedere faptul că se dorește o funcționare corectă (fără blocări) a mecanismului, iar pentru aceasta există o serie de condiții ce trebuie îndeplinite de valorile distanțelor dintre articulații.

Pentru a realiza simularea mecanismului, rotația primului braț va fi dată de rotația unui obiect fals de tip **Dummy**.

Așadar se creează un obiect fals **Dummy**, poziția și orientarea inițială a acestuia trebuind să fie dată de poziția și orientarea primului braț. Așadar cu obiectul fals selectat se acționează butonul **Align** din bara de instrumente și se trage peste primul braț, acțiune care deschide caseta de dialog **Align Selection**; în această casetă se marchează casetele de validare **X Position**, **Y Position**, **Z Position** (grupul **Align Position (Screen)**) și **X Axis**, **Y Axis**, **Z Axis** (grupul **Align Orientation (Local)**) după care se închide cu **OK**, fig. 5.11.

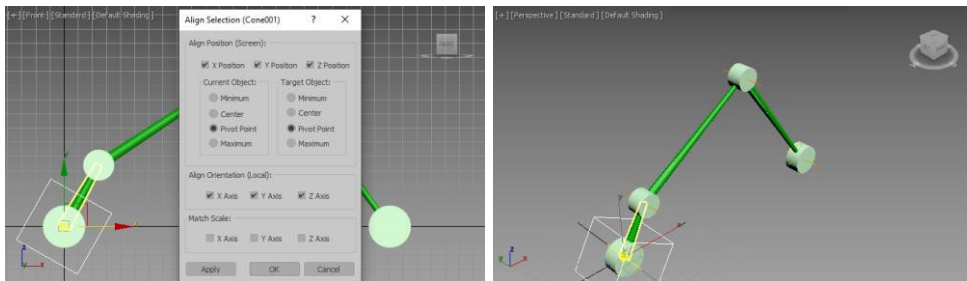


Fig. 5.11. Alinierea obiectului fals la primul braț

Pentru obiectul fals **Dummy** se vor seta chei de rotație după axa **Y** cu ajutorul ferestrei **Track View**, fig. 5.12.

În ultima etapă, se selectează primul braț, se deschide panoul de comandă **Hierarchy** iar în caseta derulantă **Object Parameters**, secțiunea **Bind To Follow Object** se acționează butonul **Bind** după care se trage peste obiectul fals **Dummy**; în acest fel se obține urmărirea poziției obiectului fals de către primul braț; se menționează doar poziția, deoarece este foarte posibil ca în acest moment în secțiunea **Orientation** a casetei derulante **Object Parameters**, caseta derulantă **Bind Orientation** să nu fie marcată, iar ceea ce interesează în această simulare este de fapt orientarea (deoarece poziția articulației, respectiv a obiectului **Dummy**, este fixă).

Așadar, se marchează caseta de validare **Bind Orientation** și dacă este necesar se modifică valoarea **Weight** (pentru a permite o rotație completă această valoare este 360). Etape ale simulării funcționării mecanismului sunt prezentate în fig. 5.13.

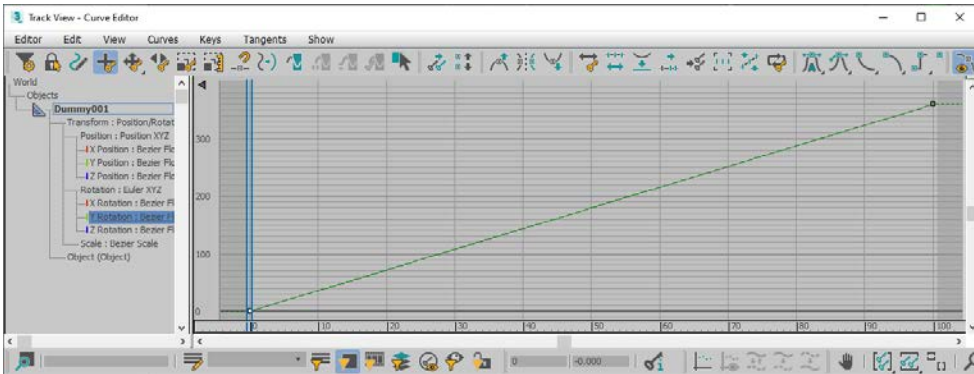
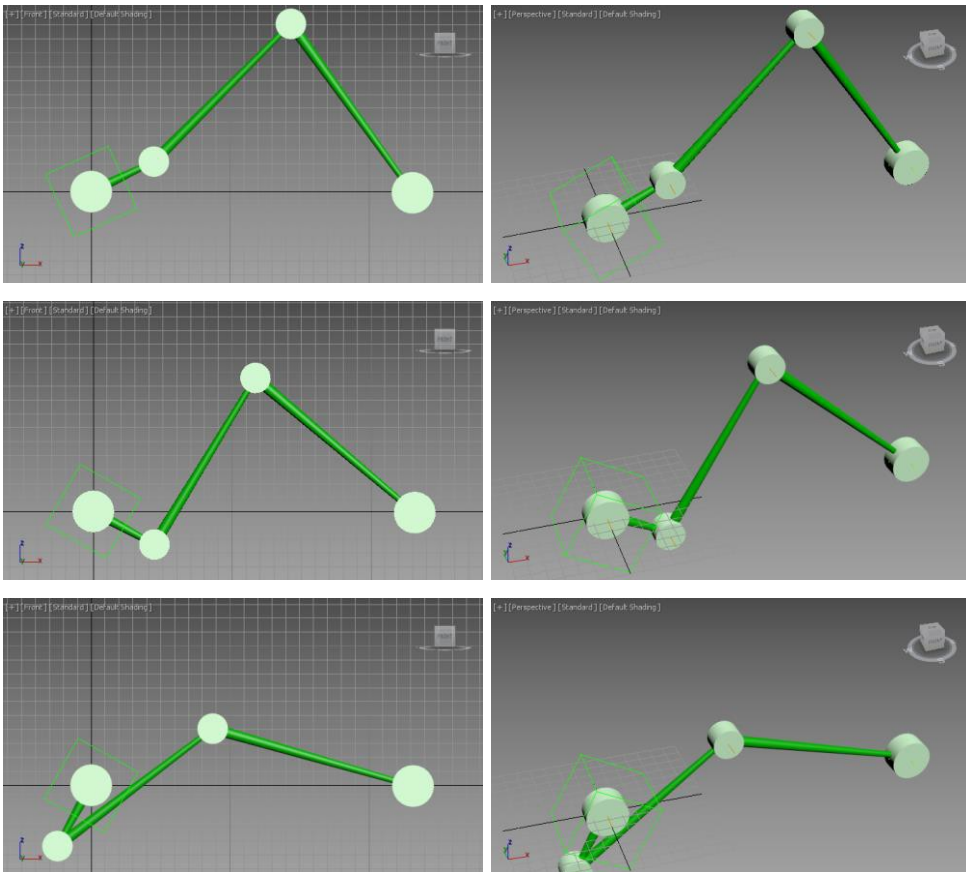


Fig. 5.12. Setarea cheilor de rotație pentru obiectul fals *Dummy*



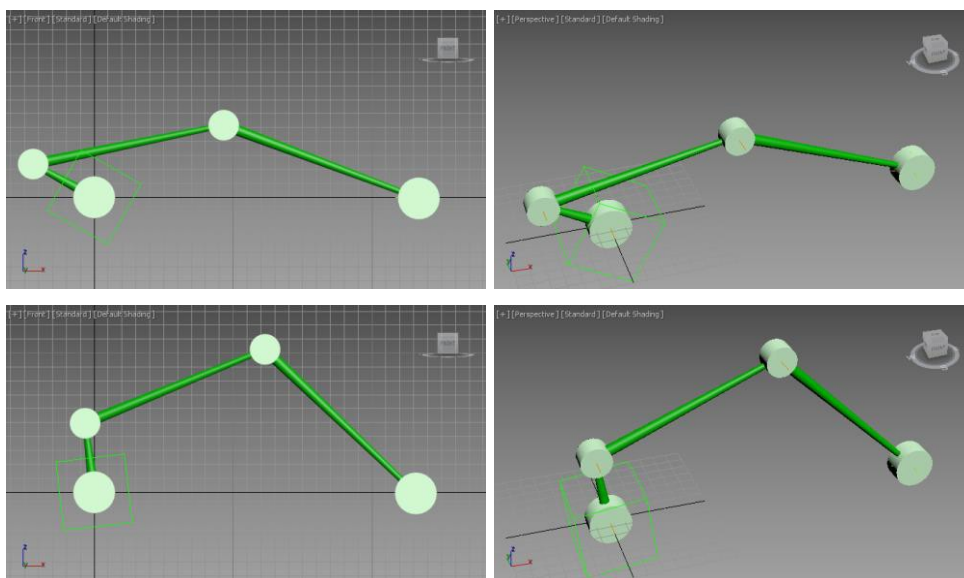


Fig. 5.13. Diferite cadre ale simulării funcționării mecanismului patrulater plan

Varianta de simulare 2

Varianta precedentă de rezolvare a simulării reprezintă metoda de rezolvare propusă de majoritatea literaturii de specialitate [1, 12], însă aceasta parcurge un proces relativ greoi și nesugestiv. Având în vedere acest aspect mai jos se propune aplicare instrumentului **IK Solvers – HD Solver** într-o manieră mai simplă și mai sugestivă care să conducă la o rezolvare corectă a simulării și care în plus să permită dezvoltarea mecanismului (respectiv completarea acestuia prin aducerea unui noi cuple de translație).

Așadar se realizează modelarea geometrică a mecanismului (ca în fig. 5.6) de data aceasta plasându-l în punctul de coordonate (230, 0, 0), fig. 5.14.

Articulațiile se realizează în viewport-ul **Front**, folosind aceleași obiecte standard de tip **Cylinder**, pivotul celor patru cilindri fiind deplasat în centrul înălțimii. Punctele de coordonate ale celor patru cilindri, de această dată, sunt: (230, 0, 0), (230, 0, 150), (230, 0, 290), (230, 0, 340), fig. 5.14.

Construirea brațelor se realizează în viewport-ul **Top**, cu ajutorul primitivelor de tip **Cone**, pentru parametrii celor trei brațe alegându-se, de această dată, următoarele valori ale parametrilor: **Radius 1: 2**, **Radius 2: 4** (pentru toate brațele) și **Height: 150**, **Height: 140** respectiv **Height: 50**.

Punctele pivot ale acestor conuri sunt $(230, 0, 0)$, $(230, 0, 150)$, $(0, 0, 290)$, fig. 5.14.

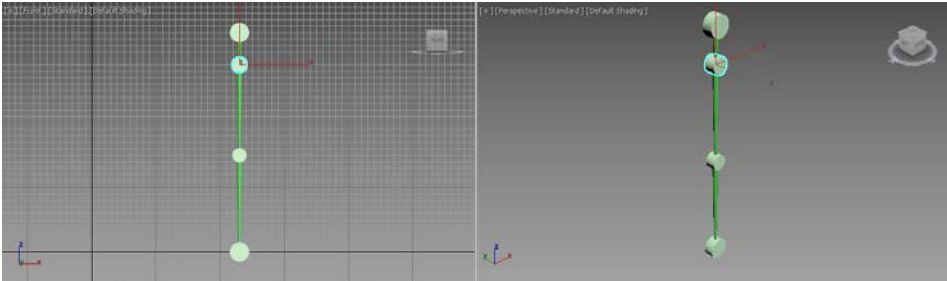


Fig. 5.14. Modelarea geometrică a mecanismului

Așadar mecanismul a fost plasat în punctul $(230, 0, 0)$ și este construit în oglindă după o axă orizontală față de mecanismul din prima variantă (fig. 5.6 comparativ cu fig. 5.14).

Legarea obiectelor se realizează de sus în jos de la articulația cea mai de sus spre cea de la bază, succesiv în ordinea articulație – braț, folosind comanda **Select and Link** din bara de instrumente.

În următoarea etapă se creează un obiect ajutător **Dummy** care se plasează în punctul de coordonate $(0, 0, 0)$ și căruia i se atribuie chei de rotație după axa **Y**, similar ca la varianta precedentă, fig. 5.12.

Important

Obiectul **Dummy** se realizează în viewport-ul **Front**.

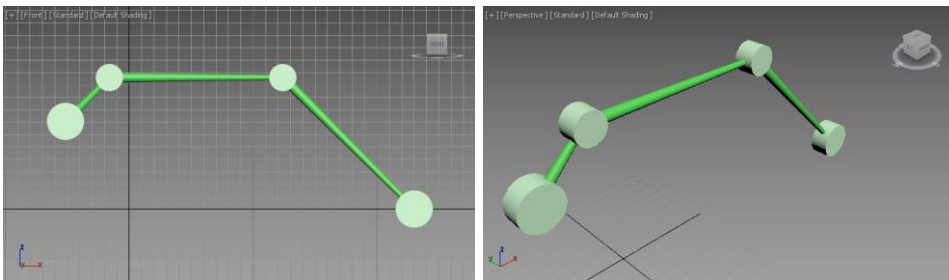


Fig. 5.15. Verificare legăturilor

După legarea elementelor se poate verifica dacă aceasta s-a realizat corect, pentru aceasta propunându-se aplicarea de funcții de transformare (în acest caz de rotații) brațelor din lanțul cinematic, fig. 5.15.

Se readuce lanțul în poziția inițială (vertical) și se aplică cinematica inversă; pentru aceasta se selectează ultima articulație din lanț, se deschide

meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers**, comanda **HD Solver** și se trage mouse-ul peste primul braț, fig. 5.16.

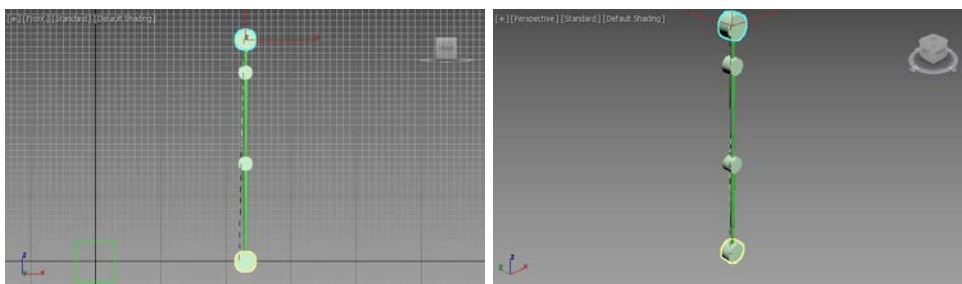


Fig. 5.16. *Aplicarea instrumentului IK Solvers – HD Solver*

După aplicarea instrumentului **HD Solver** se stabilesc parametrii din articulații și brațe; se selectează pe rând fiecare articulație și braț se activează rotațiile corespunzătoare folosind panoul de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Rotational Joints**, respectiv se marchează caseta de validare **Active** pentru **Y Axis** în cazul articulațiilor (cilindrilor) și caseta de validare **Active** pentru **Z Axis** în cazul brațelor (conurilor).

În ultima etapă, se selectează prima articulație, se deschide panoul de comandă **Hierarchy** iar în caseta derulantă **Object Parameters**, secțiunea **Bind To Follow Object** se acționează butonul **Bind** după care se trage peste obiectul fals **Dummy**, fig. 5.17.

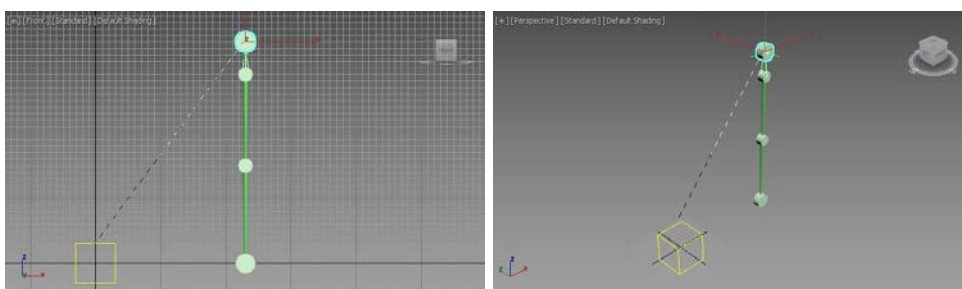


Fig. 5.17. *Comanda Bind To Follow Object*

În acest fel se obține urmărirea obiectului fals de către prima articulație; în secțiunea **Orientation** a casetei derulante **Object Parameters**, se marchează caseta derulantă **Bind Orientation**.

Etape ale simulării funcționării mecanismului sunt prezentate în fig. 5.18.

Realizarea simulării folosind etapele celei de a doua variante prezintă avantajul modelării geometrice reale a mecanismelor, deoarece se pot stabili

cu exactitate distanțele dintre cuple. De cele mai multe ori după aplicarea instrumentului **HD Solver**, în cazul primei variante, este destul de dificil de aliniat cupla din dreapta la o distanță exactă, dată. În plus este necesară alinierea primului braț cu obiectul **Dummy**, legarea neputându-se realiza cu prima cuplă (cupla din stânga).

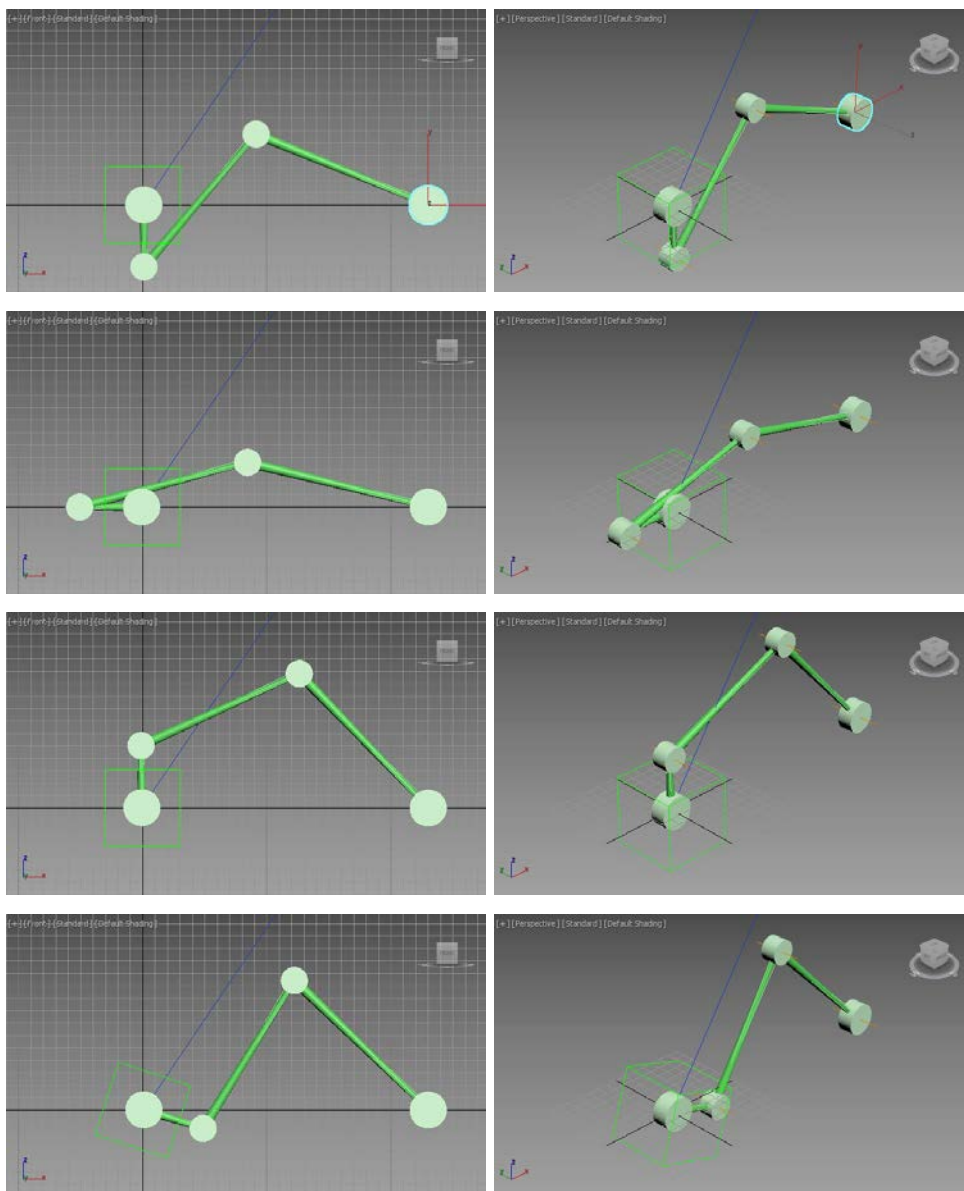


Fig. 5.18. Simularea mecanismului

Rezultatul simulărilor celor două variante conduc la același rezultat chiar dacă se observă o decalare de cadre.

Varianta de simulare 2 – adăugarea unui cuple de translație

În următoarea etapă se propune completarea mecanismului cu aducerea unei cuple de translație. Pentru aceasta în viewport-ul **Top** se creează un paralelipiped având dimensiunile **Length: 12, Width: 60, Height: 40** amplasat în punctul de coordonate (230, 12, -20); un al doilea paralelipiped (având rolul de șină) se creează astfel încât să treacă prin mijlocul primului, dimensiunile acestuia fiind **Length: 4, Width: 240, Height: 4** iar punctul de coordonate (230, 12, -2), fig. 5.19 [1].

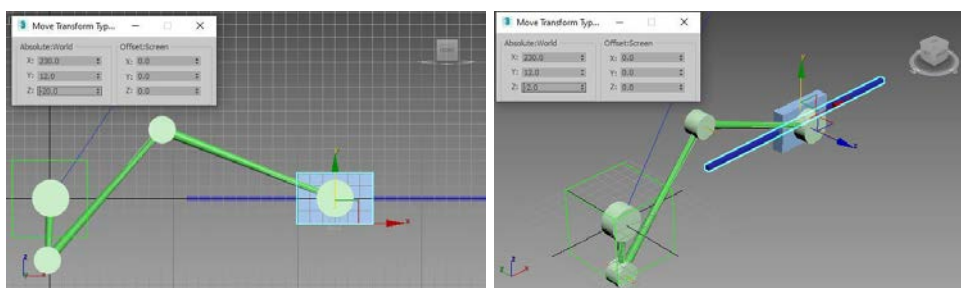


Fig. 5.19. Completarea geometriei mecanismului

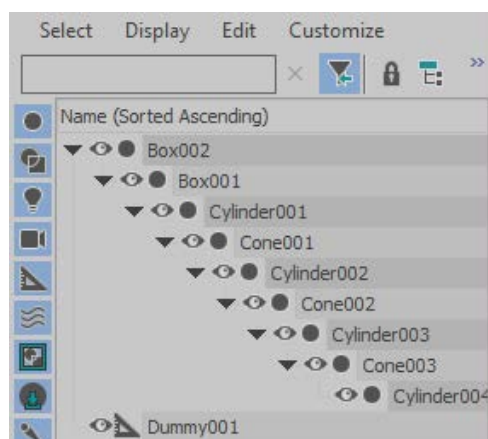


Fig. 5.20. Noua ierarhie a lanțului cinematic

Se selectează prima cuplă din stânga (cilindrul) și se acționează butonul **Unbind** din panoul de comandă **Hierarchy**, caseta derulantă **Object Parameters**, grupul **Bind To Follow Object** pentru a dezlega obiectul

Dummy.

În următoarea etapă se realizează legarea lanțului cinematic existent de cele două paralelipede (articulația din dreapta de paralelipipedul pastilă, paralelipipedul pastilă de paralelipipedul șină). Noua ierarhie obținută este prezentată în fig. 5.20.

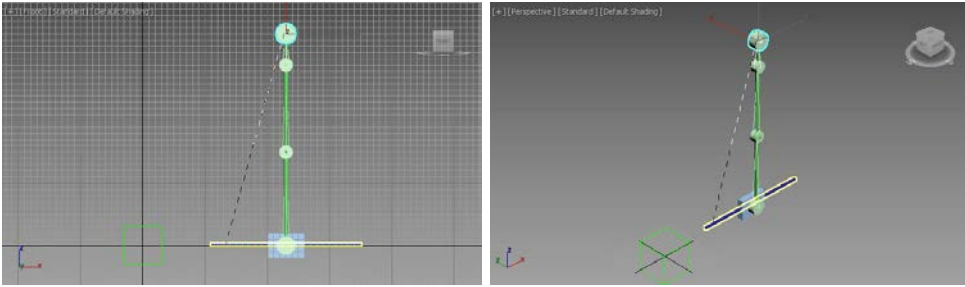


Fig. 5.21. Aplicarea instrumentului *HD Solver*

Înainte de a reface lanțul cinematic este necesară îndepărtarea celui existent, respectiv se selectează vechil lanț, se deschide panoul de comandă **Motion**, iar în caseta derulantă **IK Controller Parameters** se acționează butonul **Remove IK Chain** (grupul **Remove IK**).

În următoarea etapă se creează noul lanț cinematic, respectiv se aplică cinematica inversă; pentru aceasta se selectează ultima articulație din lanț, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers**, comanda **HD Solver** și se trage mouse-ul peste paralelipipedul șină, fig. 5.21.

Pentru noile elemente din lanț este necesară stabilirea parametrilor din articulații, respectiv crearea cuplei de translație; pentru aceasta se selectează paralelipipedul pastilă care trebuie să se deplaseze după axa **X** și se activează translația corespunzătoare folosind panoul de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Sliding Joints** și se marchează caseta de validare **Active** pentru **X Axis**; de asemenea este necesară deselectarea tuturor rotațiilor, respectiv în caseta derulantă **Rotational Joints** se de-selectează toate casetele de validare **Active** pentru **X Axis**, **Y Axis**, **Z Axis**.

Pentru paralelipipedul șină este necesară deselectarea tuturor mișcărilor (rotațiilor și translațiilor – acestea din urmă sunt în mod implicit de-selectate).

În ultima etapă, se selectează prima articulație, se deschide panoul de comandă **Hierarchy** iar în caseta derulantă **Object Parameters**, secțiunea **Bind To Follow Object** se acționează butonul **Bind** după care se trage peste obiectul fals **Dummy**.

Etape din simularea obținută sunt prezentate în fig. 5.22.

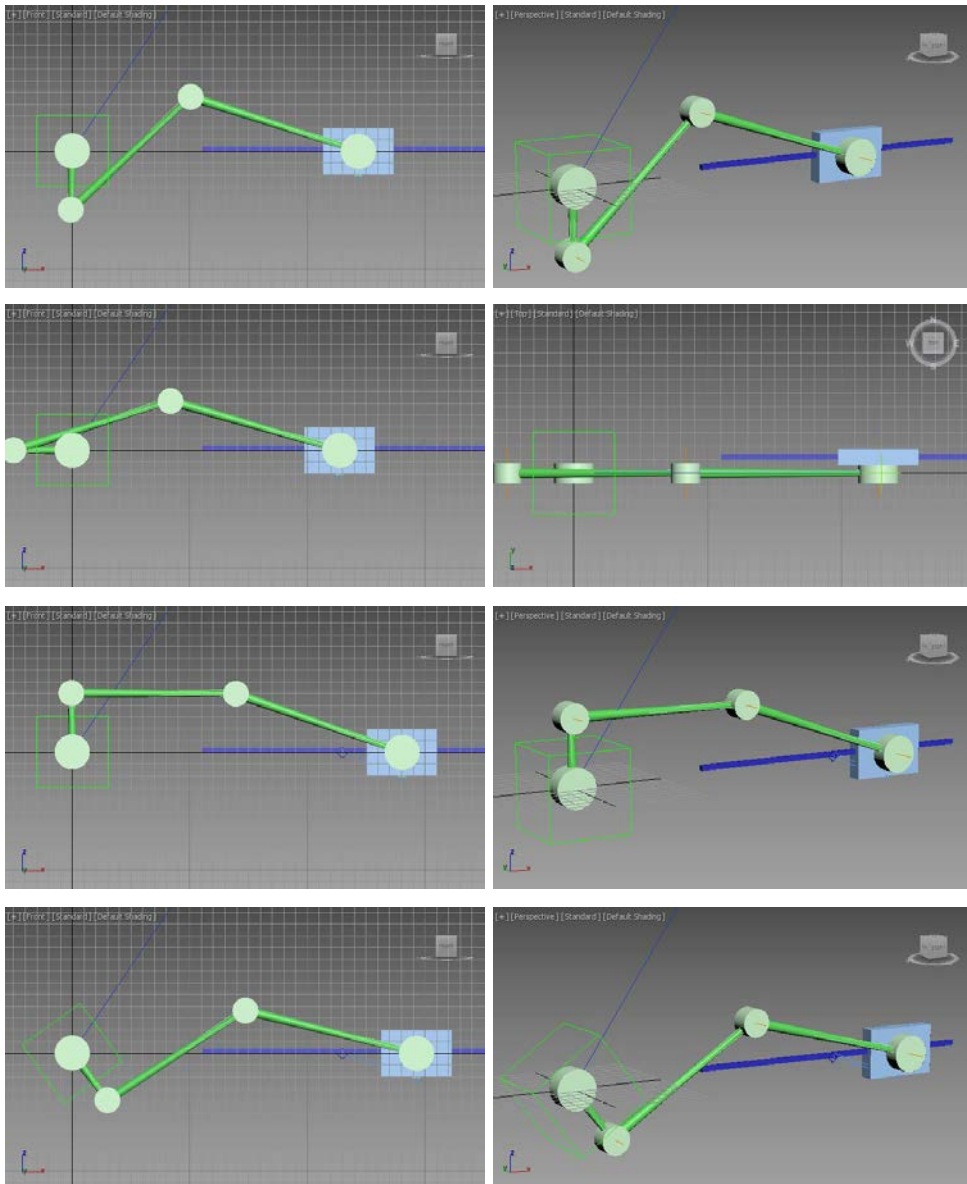


Fig. 5.22. Simularea noului mecanism

Varianta de simulare 1 – adăugarea unui efector cu mișcare de rotație

În această secțiune se propune revenirea la geometria mecanismului prezentată în fig. 5.6 și completarea acesteia cu o roată-efector având mișcare

de rotație [1].

Această roată va fi atașată prin intermediul unui cep de ultima articulație a mecanismului (cea aflată în partea de sus a mecanismului construit în poziție verticală), fig. 5.23.

Pentru materializarea acestei roți, care va efectua o mișcare de rotație completă (de 360 de grade), s-a utilizat o primitivă **Cylinder** creată în viewport-ul **Front** și având raza de 100 iar parametrul **Height** setat la valoarea -10; pentru coordonatele punctului de origine s-au ales valorile (75, 15, 340), astfel încât discul să fie excentric față de mecanismul în poziție verticală.

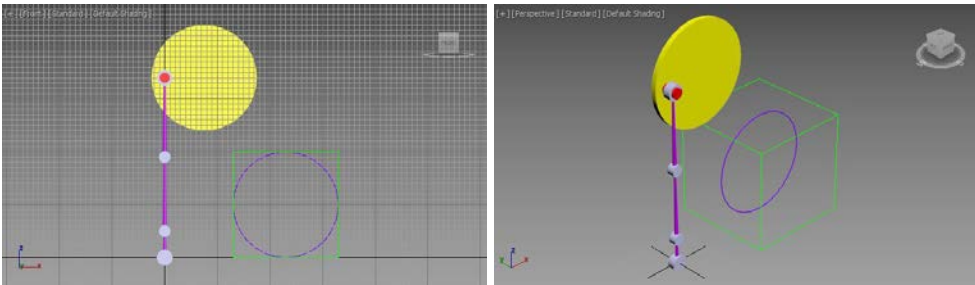


Fig. 5.23. Completarea geometriei mecanismului din fig. 5.6

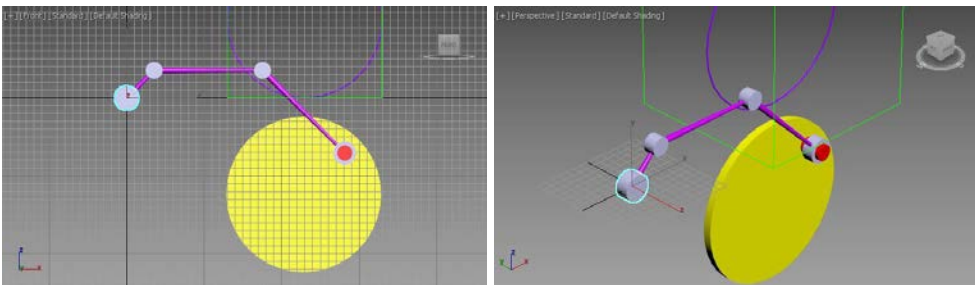


Fig. 5.24. Verificarea legăturilor

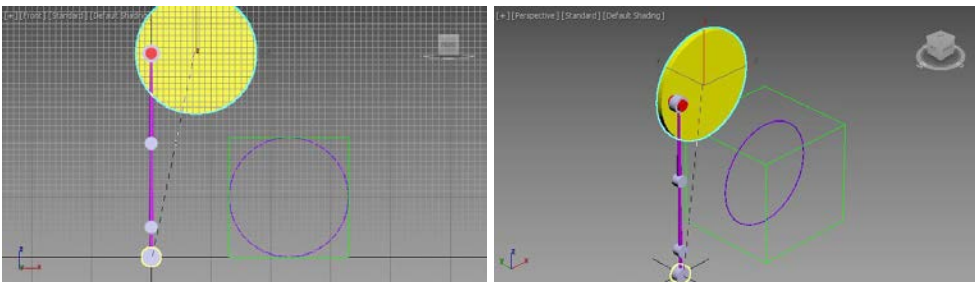


Fig. 5.25. Comanda *Apply IK Solvers – HD Solver*

Acest disc este fixat de articulație prin intermediul unui cep cilindric având raza de 10, înălțimea de 50 iar punctul de coordonate (0, 5, 340); cepul cilindric este centrat după secțiunea transversală cu articulația mecanismului.

Tot în această etapă s-a creat și obiectul fictiv **Dummy**, amplasat în punctul de coordonate (230, 20, 100) și căruia i se atribuie o mișcare de rotație cu 360 de grade după axa **Y**. Foarte important de menționat, obiectul fictiv va fi realizat în viewport-ul **Front**, la fel ca și discul care va urmări mișcarea acestuia.

Legarea elementelor mecanismului se va realiza de sus în jos, de la disc spre articulația din punctul de coordonate (0, 0, 0).

Odată realizată legarea lanțului cinematic se poate verifica dacă legarea elementelor s-a realizat corect prin atribuirea transformări acestora; aplicarea unei funcții de transformare unui element trebuie să afecteze tot ceea ce înseamnă lanțul descendent acestuia, lanțul ascendent elementului nefiind influențat de funcția de transformare aplicată, fig. 5.24.

În următoarea etapă se aplică cinematica inversă; pentru aceasta se selectează discul, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers**, comanda **HD Solver** și se trage mouse-ul peste prima articulație, fig. 5.25.

Pentru stabilirea parametrilor din articulații, selectând pe rând fiecare articulație și braț se activează rotațiile corespunzătoare în panoul de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Rotational Joints**, respectiv se marchează caseta de validare **Active** pentru **Y Axis** în cazul articulațiilor (cilindrilor) și caseta de validare **Active** pentru **Z Axis** în cazul brațelor (conurilor).

Pentru cepul de legătură cu discul și pentru disc, se vor de-selecta toate mișcările, respectiv toate casetele de validare **Active**, atât din caseta derulantă **Sliding Joints** cât și din caseta derulantă **Rotational Joints**. Se are în vedere faptul că discul va prelua mișcarea obiectului fictiv.

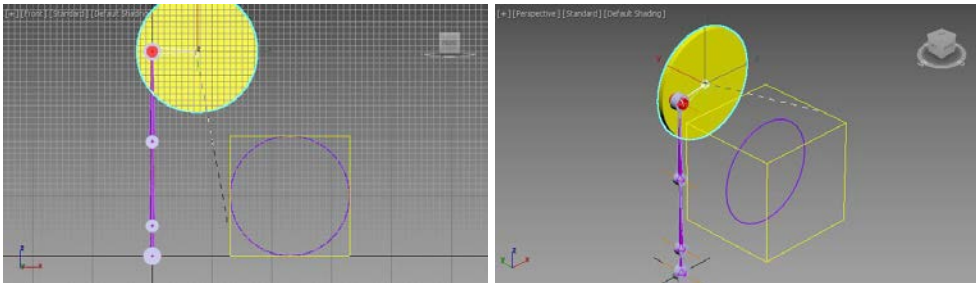


Fig. 5.26. Comanda **Bind** aplicată obiectului **Dummy**

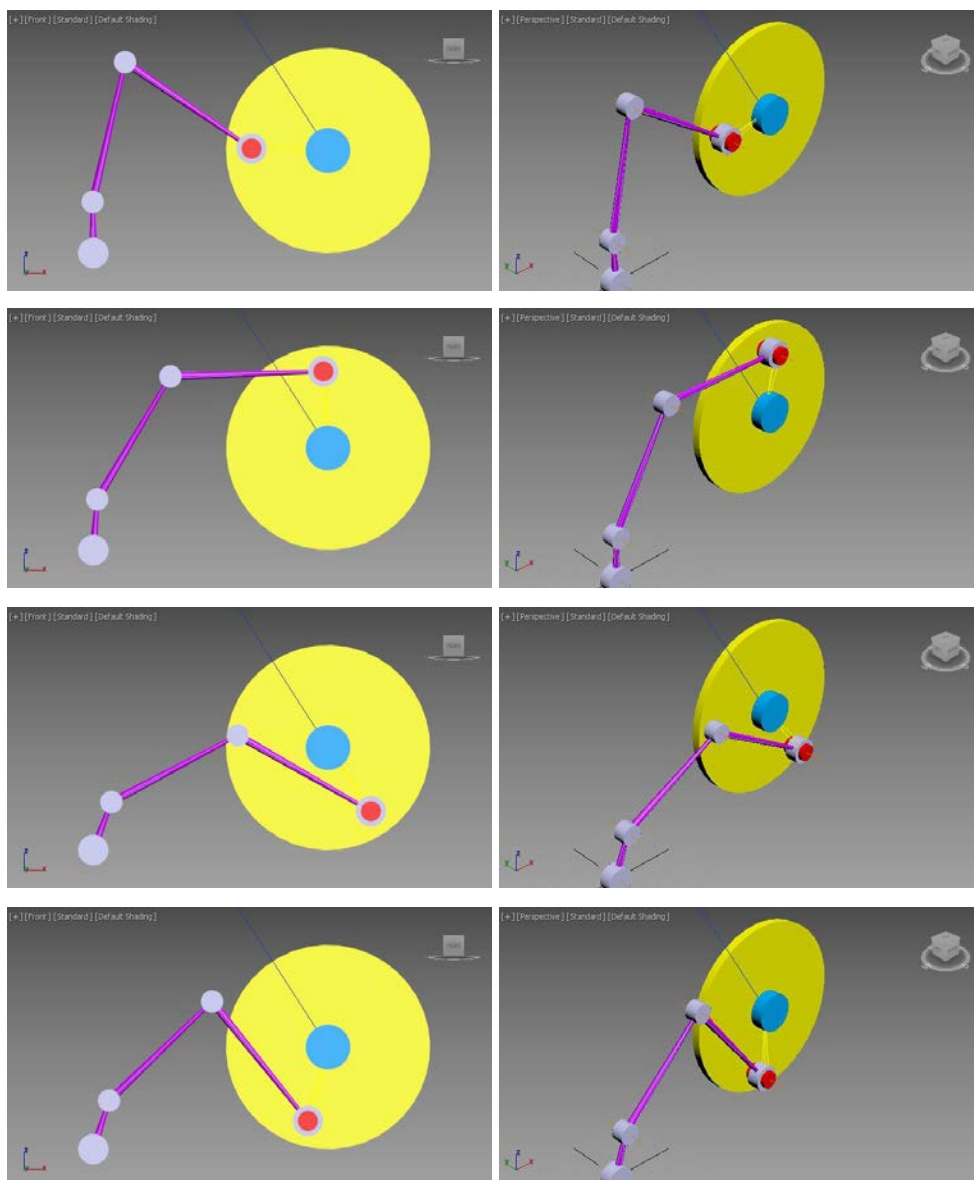


Fig. 5.27. *Simularea mecanismului*

În ultima etapă, se selectează discul, se deschide panoul de comandă **Hierarchy** iar în caseta derulantă **Object Parameters**, secțiunea **Bind To Follow Object** se acționează butonul **Bind** după care se trage peste obiectul fals **Dummy**, fig. 5.26.

Etape din simularea obținută sunt prezentate în fig. 5.27.

5.3. Animația unui mecanism R || R || R

În continuare se propune un exemplu prin care se va ilustra modul de articulare a brațelor unui mecanism și modul de folosire a cinematicii inverse pentru a anima aceste brațe, cu restricții caracteristice reale [1].

Realizarea solului și a bazei mecanismului – Top View

În panoul de comandă se execută clic pe eticheta **Create** a panoului de comandă pentru a îl deschide. (În mod prestabilit, acesta ar trebui să fie deja vizibil.) Se alege butonul **Box** din caseta derulantă **Object Type** a panoului de comandă. Butonul **Box** se colorează pentru a indica faptul că este activ. Se activează viewport-ul **Top** executând clic pe acesta. Se introduc datele necesare realizării solului în caseta derulantă **Keyboard Entry**. Se realizează două obiecte de tip **Box** pentru reprezentarea solului; se creează obiectele **Box001** ($X = 0, Y = 0, Z = -20, \text{Length} = 80, \text{Width} = 120, \text{Height} = -5$) și **Box002** ($X = 0, Y = 0, Z = -10, \text{Length} = 40, \text{Width} = 100, \text{Height} = -10$).

În panoul de comandă **Create** se execută clic pe butonul **Cone** și se derulează lista **Keyboard Entry** pentru introducerea dimensiunilor dorite pentru realizarea bazei mecanismului; se creează obiectul **Cone001** ($X = 0, Y = 0, Z = 0, \text{Radius1} = 15, \text{Radius2} = 20, \text{Height} = -10$), fig. 5.28 [1].

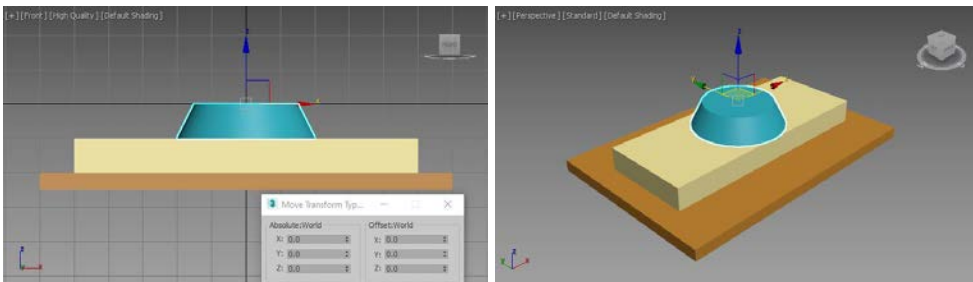


Fig. 5.28. Crearea solului și a bazei mecanismului

Realizarea brațelor mecanismului – Top View

În panoul de comandă **Create**, se alege butonul **Box** – pentru crearea

primului braț al mecanismului (celelalte brațe se vor obține prin copierea acestuia) – și se deschide lista derulantă **Keyboard Entry** pentru introducerea datelor dorite; se creează obiectul **Box03** ($X = 0, Y = 0, Z = 0, \text{Length} = 10, \text{Width} = 15, \text{Height} = 50$).

Scopul exemplelor prezentate constă în familiarizarea lucrului cu instrumentele **IK**, motiv pentru care nu se insistă foarte mult pe modelarea geometrică a obiectelor componente ale mecanismului; totuși dacă se dorește obținerea unei rotunjiri corespunzătoare a capetelor brațelor (a obiectelor **Box** care le materializează), care să modeleze mai corect zona articulațiilor, se propune setarea parametrului **Width Segs** la valoarea 2 și aplicarea unei funcții de modificare **Edit Poly**.

Aplicarea unei funcții de modificare **Edit Poly**, va permite editarea și modificarea geometriei capătului brațului la nivel de sub-obiect **Polygon**; se selectează unul dintre poligoanele bazei și se aplică comanda **Hinge From Edge** pentru care parametrul **Hinge Angle** este setat la valoarea 180, parametrul **Hinge Segments** la valoarea 20 iar pentru parametrul **Picking HingeEdge** se selectează din scenă muchia din mijloc, fig. 5.29.

În mod asemănător, se aplică comanda **Hinge From Edge** și pentru capătul superior al brațului.

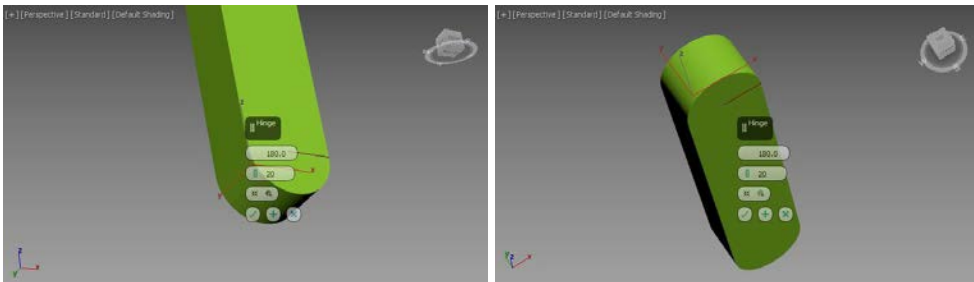


Fig. 5.29. Comanda *Hinge From Edge*

Pentru obținerea celorlalte două brațe se propune copierea brațului realizat, deplasarea în pozițiile corespunzătoare – $(0, 0, 50)$ și $(0, 0, 100)$ – și scalarea secțiunilor transversale (pentru prezentul exemplu s-a realizat o scalare cu 90% și respectiv 80% după axele X și Y pentru fiecare nou braț, relativ la primul), fig. 5.30.

Așadar brațele superioare au aceeași lungime ca și primul dar sunt mai subțiri.

De menționat faptul că modul în care au fost create cele trei brațe a permis menținerea punctului pivot al fiecărui braț în punctul inferior de

articulație.

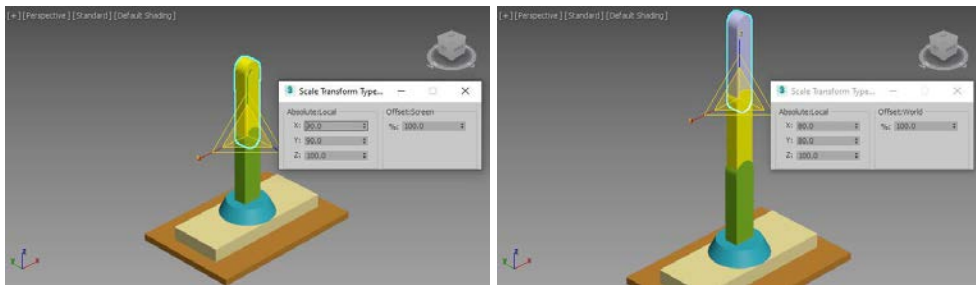


Fig. 5.30. Crearea brațelor mecanismului

Realizarea articulațiilor mecanismului – Front View

Pentru realizarea articulațiilor, în viewport-ul **Front** se execută clic pe butonul **Create** al panoului de comandă, se selectează **Standard Primitives** din caseta derulantă și se alege butonul **Cylinder** – de trei ori pentru realizarea celor trei articulații ale mecanismului – iar apoi se introduc dimensiunile dorite folosind lista derulantă **Keyboard Entry**; se creează obiectele **Cylinder001** ($X = 0, Y = 6, Z = 0, \text{Radius} = 5, \text{Height} = 12$), **Cylinder002** ($X = 0, Y = 6, Z = 50, \text{Radius} = 4, \text{Height} = 12$) și **Cylinder003** ($X = 0, Y = 6, Z = 100, \text{Radius} = 4, \text{Height} = 12$), fig. 5.31.

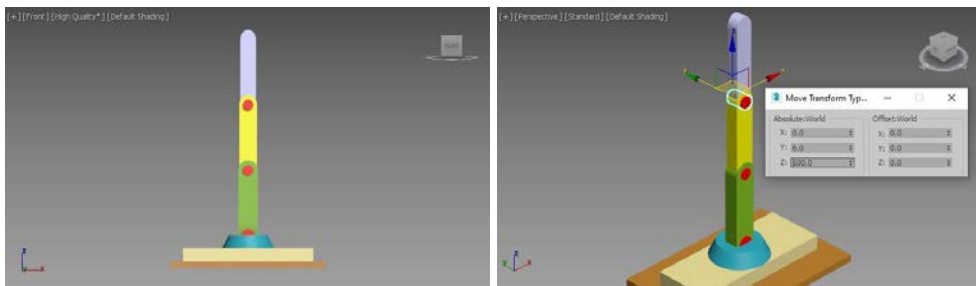


Fig. 5.31. Crearea articulațiilor

Realizarea unei efectorului la capătul brațului – Left View

Pentru a crea efectorul a cărui traiectorie trebuie urmărită, se execută clic pe butonul **Create** al panoului de comandă, se alege butonul **Torus** iar în lista derulantă **Keyboard Entry** se setează dimensiunile dorite pentru realizarea unui tor la capătul ultimului braț creat; se creează obiectul

Torus001 ($X = 0$, $Y = 0$, $Z = 180$, **Radius 1** = 8, **Radius 2** = 2, caseta de validare **Slice On** activată, **Slice From** = -30, **Slice To** = 30), fig. 5.32.

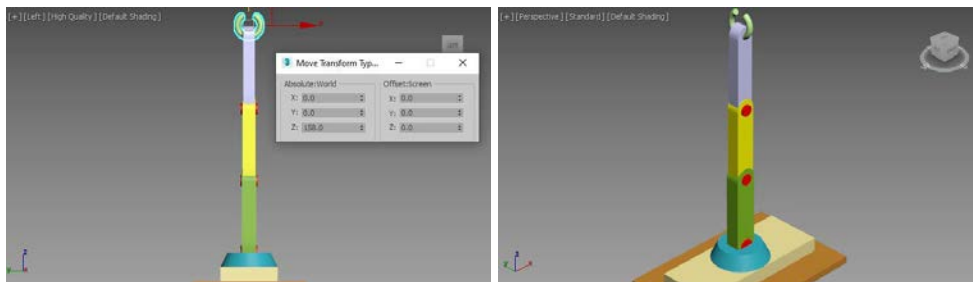


Fig. 5.32. Crearea efectorului

Legarea brațelor și a articulațiilor aferente

Pentru a utiliza cinematica inversă în vederea animării personajelor, prima etapă va consta din efectuarea operațiilor de legare. Se recomandă ca legarea să se realizeze începând întotdeauna cu ultimul obiect al lanțului și parcurgând lanțul în direcția obiectului “părinte”. Deoarece este vorba de cinematica inversă, obiectele descendente afectează “părintele” și, prin urmare, ultimul obiect al lanțului ierarhic va trebui să fie un obiect descendent.

Așadar, revenind la mecanismul propus, pentru a crea lanțul cinematic, se activează butonul **Select and Link** din bara principală de instrumente și se execută clic pe torul de la capătul ultimului braț construit. Se execută clic pe tor, se trage și se eliberează butonul mouse-ului când acesta se află deasupra primului braț. Torul și brațul vor fi puse în evidență pentru un scurt timp pentru a indica faptul că sunt legate (**Torus001** și **Box005**).

În mod asemănător se continuă cu legarea tuturor elementelor lanțului:

1. se leagă primul braț de prima articulație cilindrică (**Box005** și **Cylinder003**);
2. se leagă prima articulație cilindrică de cel de-al doilea braț (**Cylinder003** și **Box004**);
3. se leagă cel de-al doilea braț de a doua articulație cilindrică (**Box004** și **Cylinder002**);
4. se leagă a doua articulație cilindrică de cel de-al treilea braț (**Cylinder002** și **Box003**);

5. se leagă al treilea braț de a treia articulație cilindrică (**Box003** și **Cylinder003**);
6. se leagă cea de a treia articulație cilindrică de baza conică (**Cylinder003** și **Cone001**);
7. se leagă baza conică de placa prismatică cu care intră în contact (**Cone001** și **Box002**).

Se menționează faptul că în cazul în care se dorește doar funcționarea celor trei articulații cilindrice, etapele de legare 6 și 7 pot fi evitate; deoarece însă, acest exemplu va fi dezvoltat mai departe, respectiv se propune transformarea mecanismului plan într-un mecanism spațial care să permită și rotația după axa Z (rotația bazei conice) atunci este necesară aducerea bazei conice în cadrul lanțului cinematic.

Rotirea efectorului și a primelor două brațe față de cea de a doua articulație

Pentru a verifica legarea elementelor lanțului cinematic, în viewport-ul **Front**, se selectează cea de a doua articulație și se rotește după axa Y (fig. 5.33).



Fig. 5.33. Rotirea primelor două brațe



Fig. 5.34. Rotirea ultimei articulații

Așa cum se poate observa, dacă legarea elementelor s-a realizat corect, tot lanțul descendent articulației va fi afectat de rotația acesteia în timp ce elementele ascendente nu sunt afectate de transformarea articulației.

În fig. 5.34 rotația ultimei articulații provoacă și rotirea ultimului braț în timp ce toate elementele ascendente acestei articulații nu sunt afectate de transformare.

Rotirea primei articulații

În continuare se propune revenirea la configurația inițială a lanțului și se aplică o rotație primei articulații aflată la baza lanțului (fig. 5.35); toate brațele se rotesc în mod corespunzător.

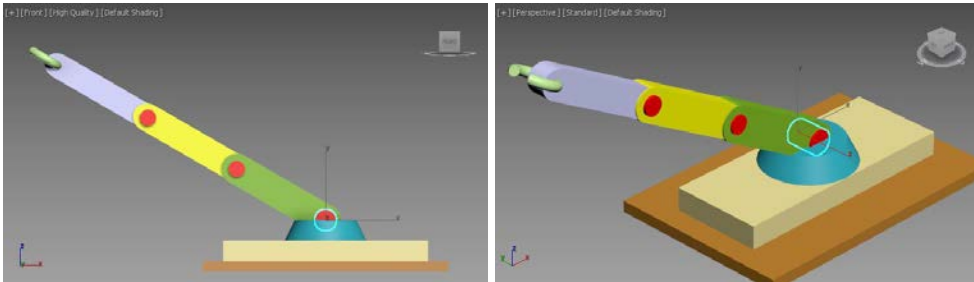


Fig. 5.35. Rotirea primei articulații

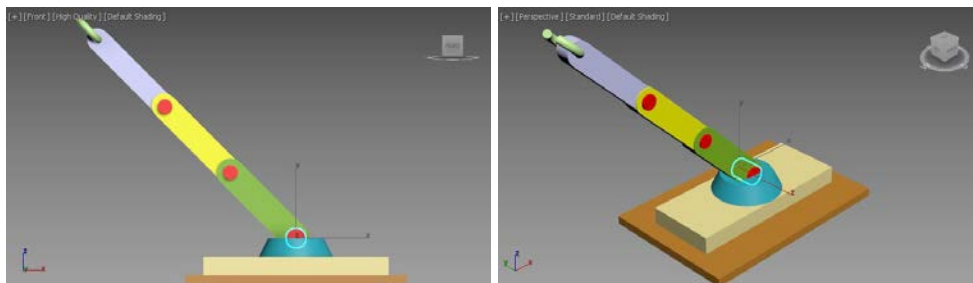
Verificarea legării obiectelor între ele

În viewport-ul **Front**, se selectează prima articulație cilindrică și se rotește cu 45 de grade. Se remarcă modul în care răspunde restul lanțului cinematic (fig. 5.36,a). Se rotește a doua articulație cu 30 de grade.

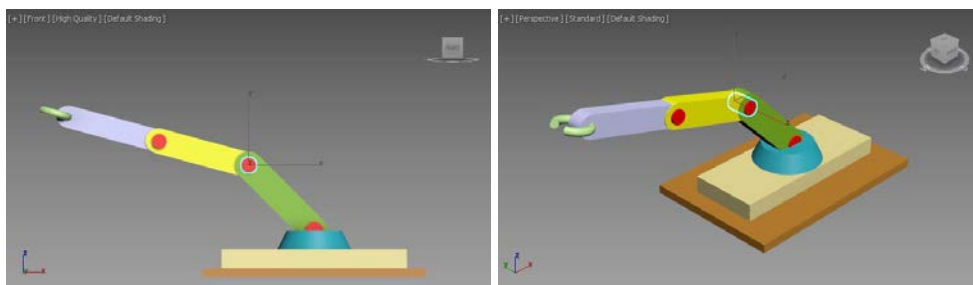
Se remarcă faptul că restul lanțului (situat pe un nivel inferior în lanțul ierarhic) se deplasează, însă obiectele situate pe niveluri superioare în lanțul ierarhic rămân nemișcate (fig. 5.36,b).

Înainte de a continua această aplicație se recomandă ca toți pivoții lanțului cinematic să se afle în același plan, respectiv planul XOZ ; pentru aceasta va fi necesară selectarea pe rând a articulațiilor cilindrice (obiectele **Cylinder001**, **Cylinder002**, **Cylinder003**) și cu ajutorul panoului de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **Pivot** se activează butonul **Affect Pivot**

Only și se deplasează pivoții cilindrilor în punctele de coordonate (0, 0, 0), (0, 0, 50), și (0, 0, 100).



a – răspunsul brațelor aflate la nivel ierarhic inferior



b – reacția brațelor situate la nivel ierarhic inferior și superior
Fig. 5.36. Răspunsul brațelor aflate la diferite niveluri ierarhice

Stabilirea parametrilor articulațiilor și brațelor

Se selectează ultima articulație de sus, **Cylinder003**. Se dezactivează axele *X* și *Z*. Se selectează următoarea articulație, **Cylinder002**. În caseta derulantă **Rotational Joints** se dezactivează axele *X* și *Z*. Se selectează următoarea articulație. Se dezactivează rotațiile pe axele *X* și *Z*. Se selectează conul bază. Se dezactivează toate axele articulațiilor de rotație (din caseta derulantă **Rotational Joints**). Se selectează paralelipipedul de la bază. Se dezactivează toate axele articulațiilor de rotație (din caseta derulantă **Rotational Joints**). Se selectează primul braț de deasupra bazei conice, **Box003**. Se dezactivează toate articulațiile de rotație, cu excepția axei *Z*.

Se repetă această acțiune pentru celelalte două brațe.

În viewport-ul **Front** se va reprezenta traiectoria efectorului (a centrului torului), considerându-se pentru început un traseu orizontal dus-întors perfect liniar amplasat în punctul de coordonate (0, 0, 100); scena înainte de aplicarea instrumentelor **IK** este prezentată în fig. 5.37.

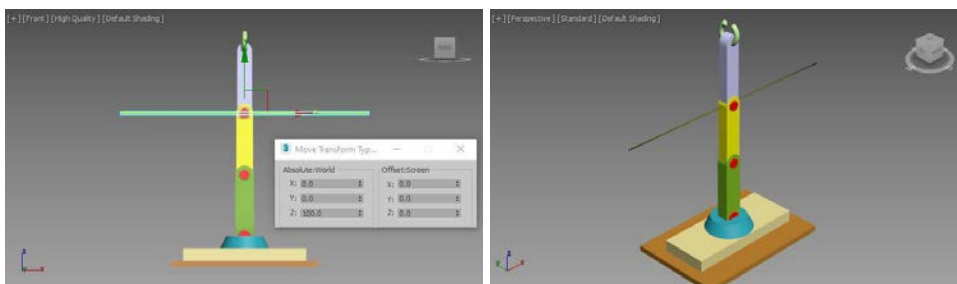


Fig. 5.37. Configurația lanțului înainte de aplicarea instrumentului **IK** și reprezentarea traiectoriei efectorului

5.3.1. Simularea cu instrumentul **IK Solvers – HI Solver**

Această secțiune propune simularea funcționării lanțului cinematic propus cu ajutorul instrumentului **HI Solver** [1].

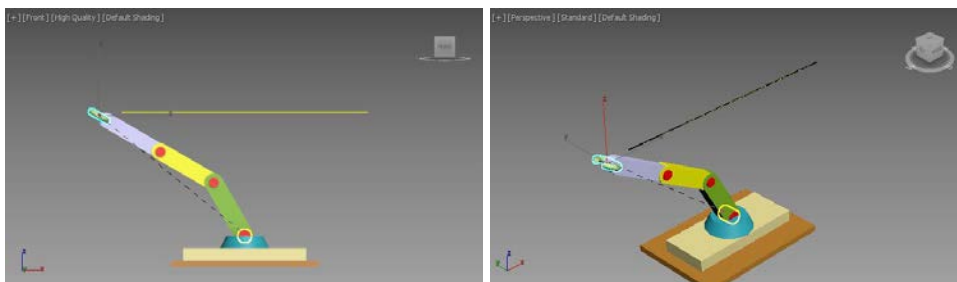


Fig. 5.38. Aplicarea instrumentului **IK Solvers – HI Solver**

Dar înainte de a aplica instrumentul **IK Solvers – HI Solver** este necesară modificarea configurației lanțului; pentru prezentul exemplu configurația propusă este prezentată în fig. 5.38.

Pentru a aplica instrumentul **IK** se selectează efectorul (torul) se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și se alege comanda **HI Solver** după care se trage mouse-ul peste prima articulație cilindrică (fig. 5.38).

În acest moment s-a format lanțul **IK Chain001**; menținând lanțul cinematic selectat în panoul **Motion**, în caseta derulantă **Assign Controller** se selectează ramura **Position** (a ramurii **IK Goal : Position/Rotation/Scale**) și se atribuie (cu ajutorul butonului **Assign Controller**) un controler de tip **Path Constraint**. În caseta derulantă **Path Parameters** se acționează butonul **Add Path** pentru a atribui traiectoria creată anterior, fig. 5.39.

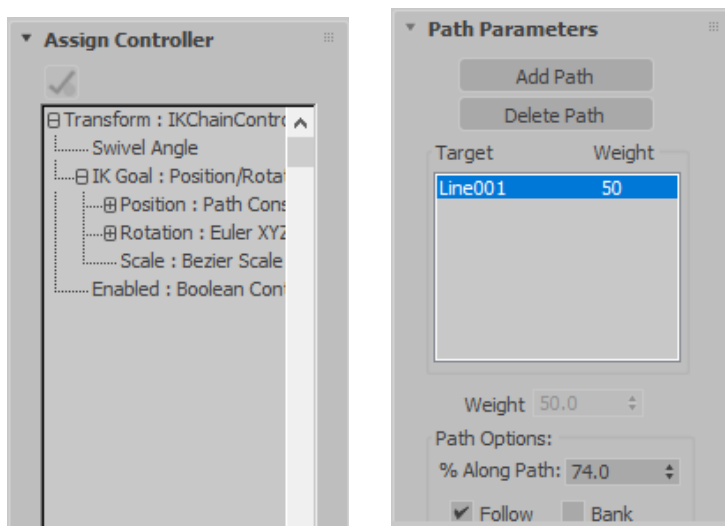
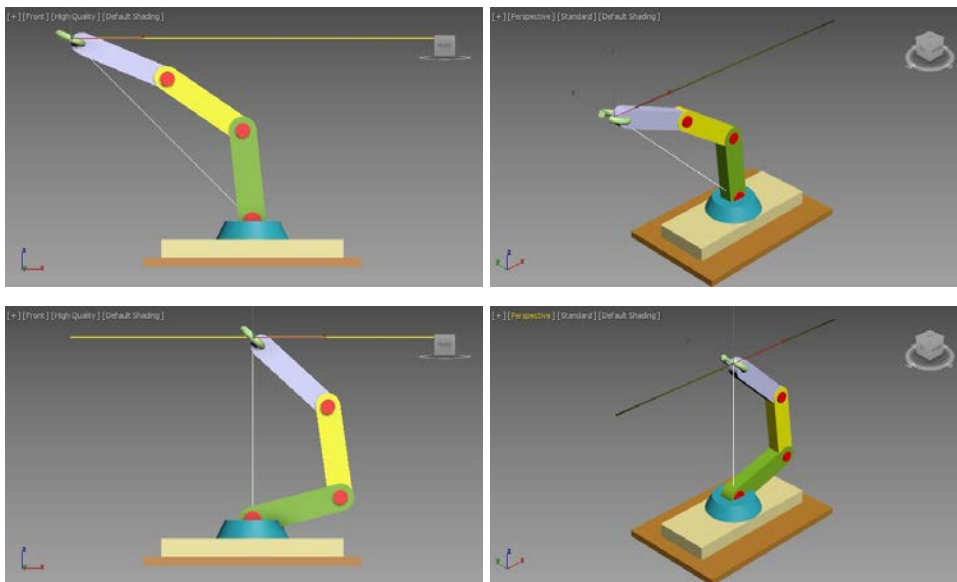


Fig. 5.39. Casetele derulante *Assign Controller* și *Path Parameters*

În fig. 5.40 sunt prezentate câteva cadre din derularea animației.

În următoarea etapă se propune modificarea traiectoriei efectorului, respectiv utilizarea unei elipse având parametrii **Length: 50**, **Width: 125**, amplasată în punctul de coordonate (-25, 0, 100) și rotită cu un unghi de -30 de grade după axa *Y* (viewport-ul **Front**).



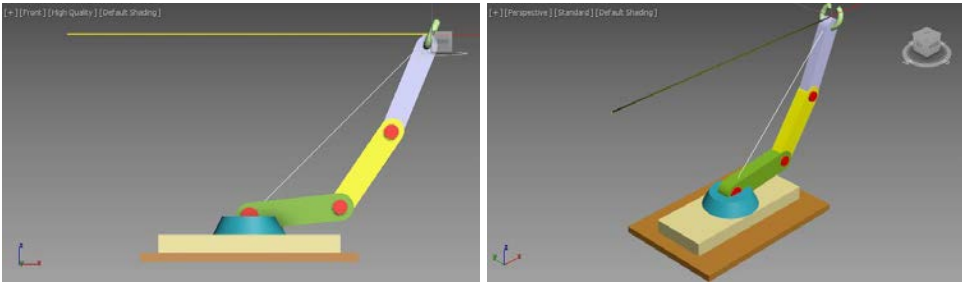


Fig. 5.40. Simularea lanțului cinematic

Modificarea traiectoriei efectorului se va realiza după selectarea lanțului cinematic (**IK Chain001**) folosind caseta derulantă **Path Parameters** a panoului de comandă **Motion**; în prima fază se acționează butonul **Delete Path** pentru eliminarea căii liniare iar apoi se acționează butonul **Add Path** pentru atribuirea noii traiectorii; efectorul va urma noua cale (fig. 5.41).

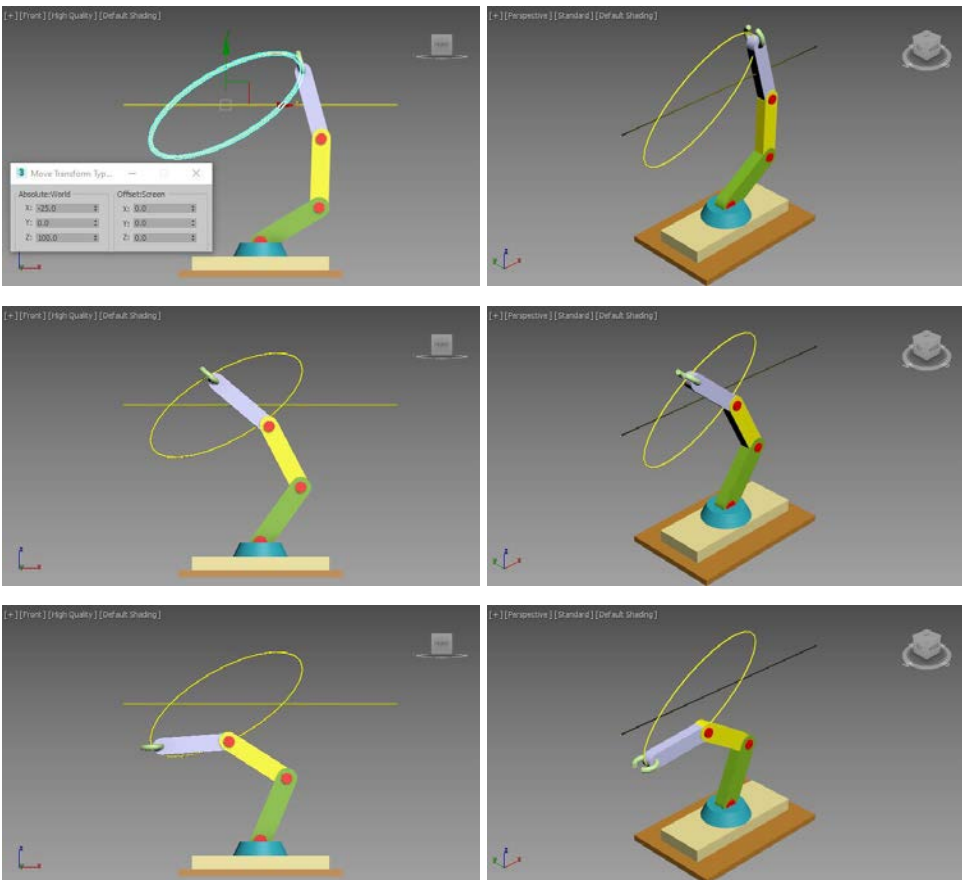




Fig. 5.41. Modificarea traiectoriei efectorului

5.3.2. Simularea cu instrumentul IK Solvers – HD Solver

Revenind la mecanismul din fig. 5.37, această secțiune propune aplicarea instrumentului **IK Solvers – HD Solver**. Așadar în prima fază se va realiza simularea lanțului cinematic pentru o traiectorie liniară a efectorului.

Aplicarea instrumentului **IK Solvers – HD Solver** nu necesită modificarea configurației lanțului cinematic. Astfel se selectează efectorul (torul) se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și se alege comanda **HD Solver** după care se trage mouse-ul peste conul bazei, fig. 5.42.

Pentru a urmări traiectoria realizată:

- se poate aplica un controler de tip **Path Constraint** torului (torul va urmări traiectoria realizată și în mod automat va modifica corespunzător configurația lanțului), fig. 5.43;
- se poate aplica un controler de tip **Path Constraint** unui obiect fals (spre exemplu **Dummy**) iar efectorul va fi legat de acest obiect fals cu ajutorul comenzii **Bind To Follow Object** (panoul de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Object Parameters**), fig. 5.44 și fig. 5.45.

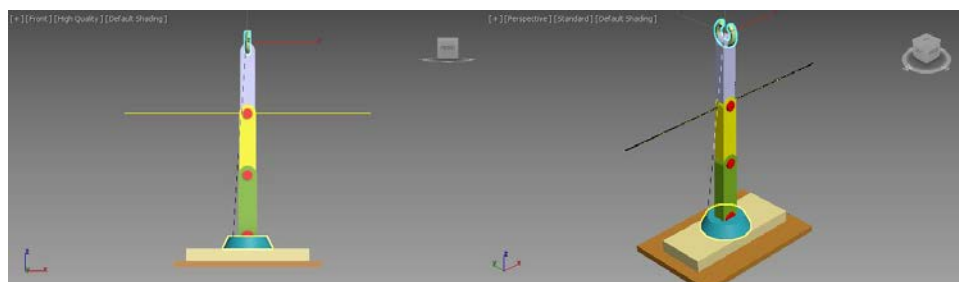


Fig. 5.42. Aplicarea instrumentului **IK Solvers – HD Solver**

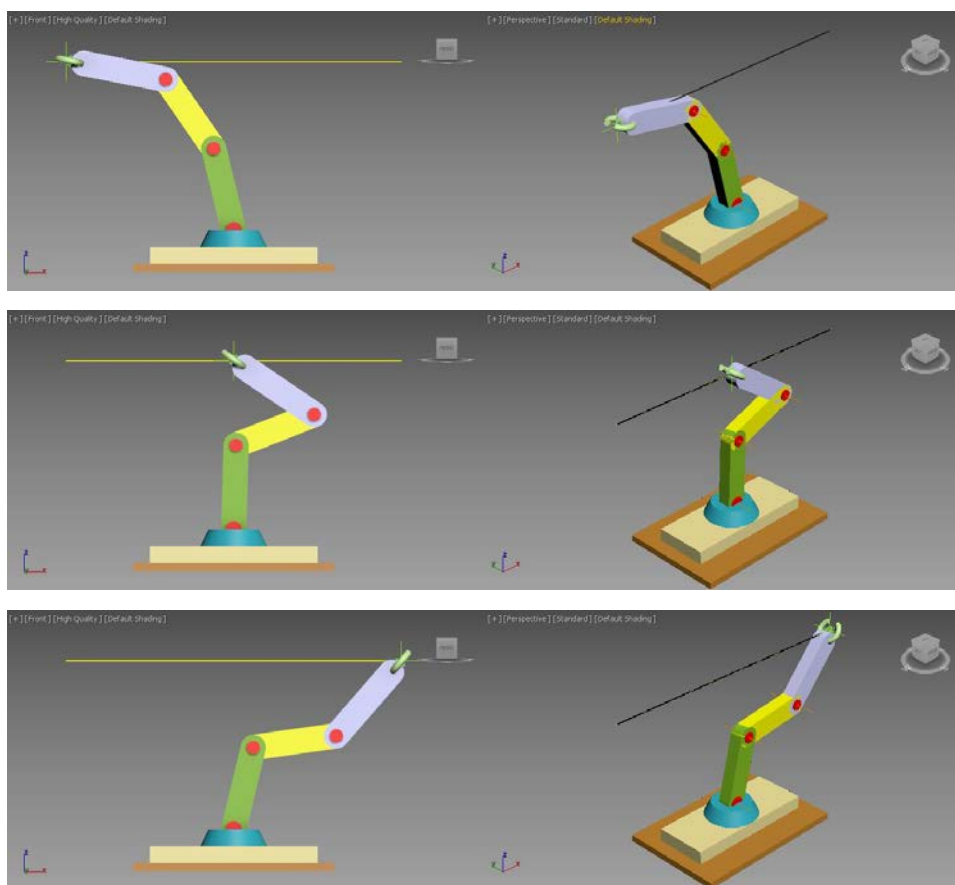


Fig. 5.43. Simularea lanțului cinematic – ectorul are atribuit un controler **Path Constraint**



Fig. 5.44. Legarea ectorului de obiectul fals, comanda **Bind To Follow Object**

Modificarea traiectoriei ectorului se poate face prin simpla atribuire a acesteia ca nouă cale de deplasare în caseta derulantă **Path Parameters** a panoului de comandă **Motion**, pentru ector sau pentru obiectul fals **Dummy**, în funcție de metoda aleasă.

Atribuirea pentru efector (torului) a unei traiectorii de formă eliptică a condus la simularea prezentată în fig. 5.46.

Mecanismul execută o mișcare într-un plan.

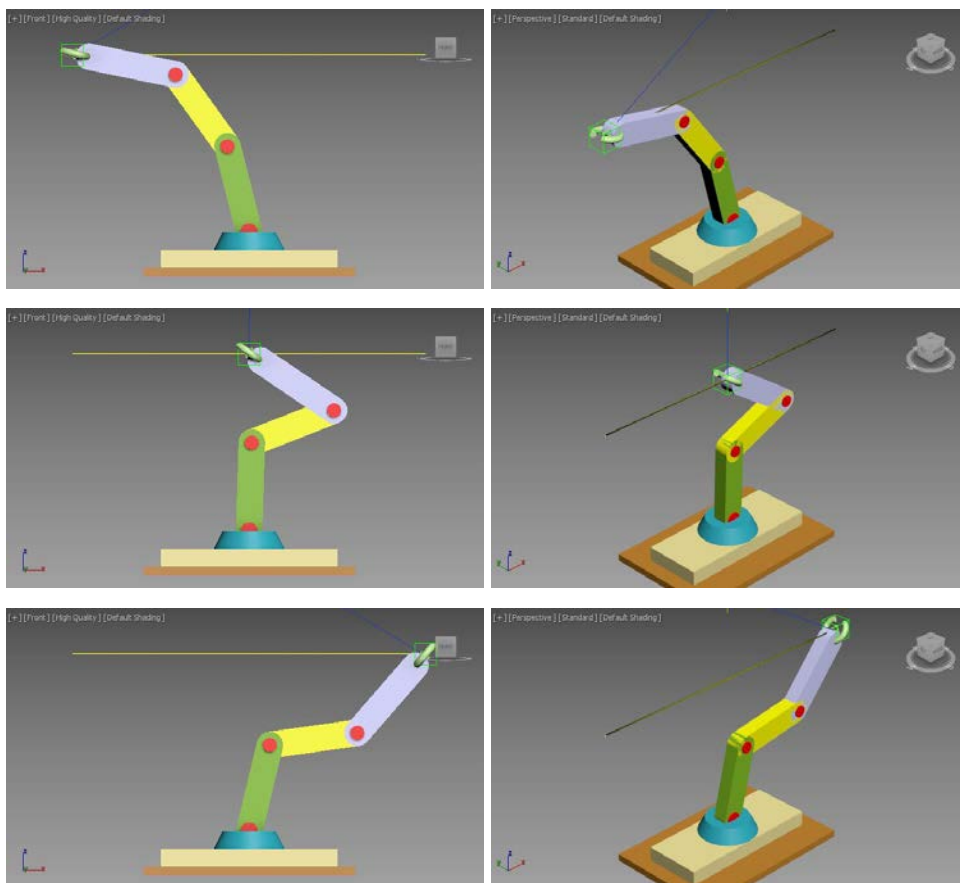
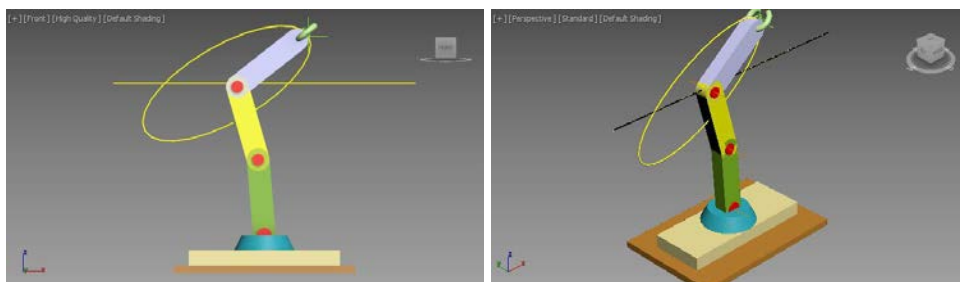


Fig. 5.45. Simularea lanțului cinematic – efectorul urmărește un obiect fals *Dummy* care are atribuit un controler *Path Constraint*



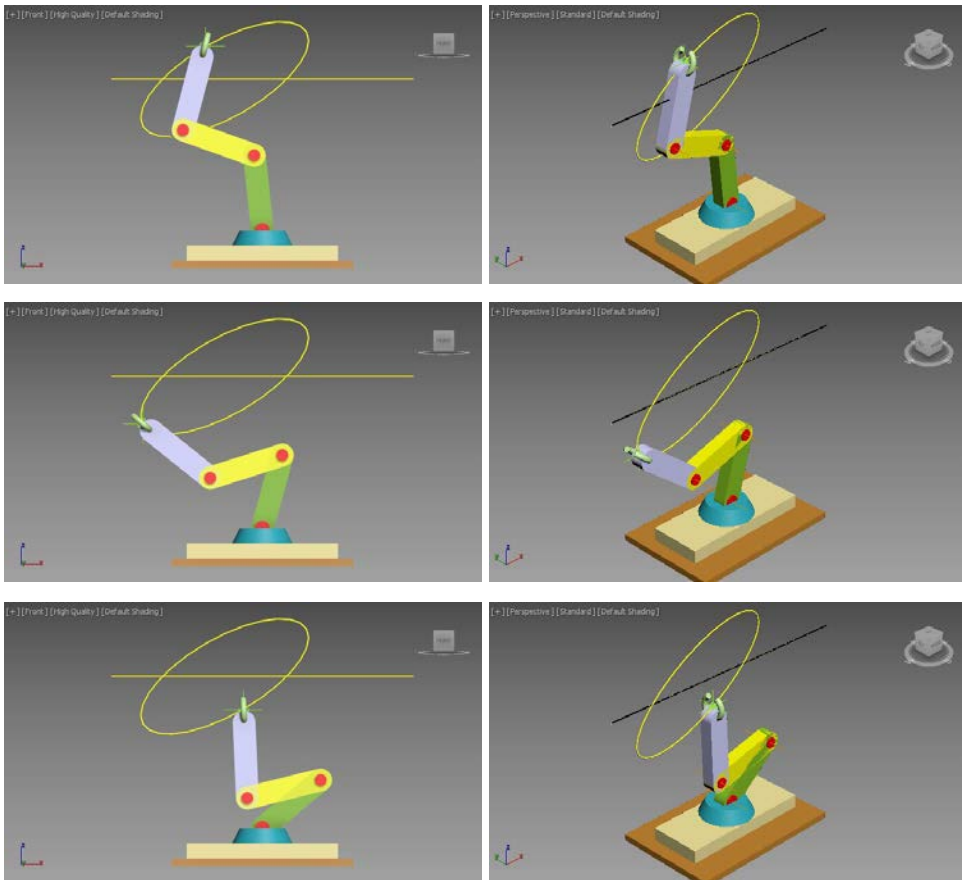


Fig. 5.46. Simularea lanțului cinematic – efulorul urmărește o traiectorie de formă elipsă

5.4. Animația unui mecanism $R \perp R \parallel R \parallel R$

Revenind la fig. 5.42 se poate remarca faptul că la aplicarea instrumentului **IK Solvers – HD Solver**, după selectarea efulorului tragerea s-a realizat peste conul de bază. Această acțiune a avut în vedere transformarea lanțului cinematic într-un lanț spațial care să poată parcurge o traiectorie de tip elice [1].

Așadar în următoarea etapă se va șterge traiectoria elipsă (panoul de comandă **Motion**, caseta derulantă **Path Parameters**, butonul **Delete Path**) și se va crea o elice (obiect **Helix** având parametrii **Radius 1**: 100, **Radius 2**:

50, **Height**: 75, **Turns**: 2 și poziția în punctul de coordonate (0, 0, 50)), fig. 5.47.

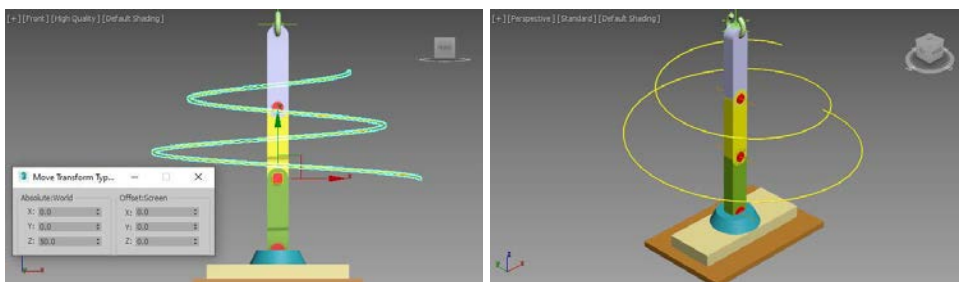
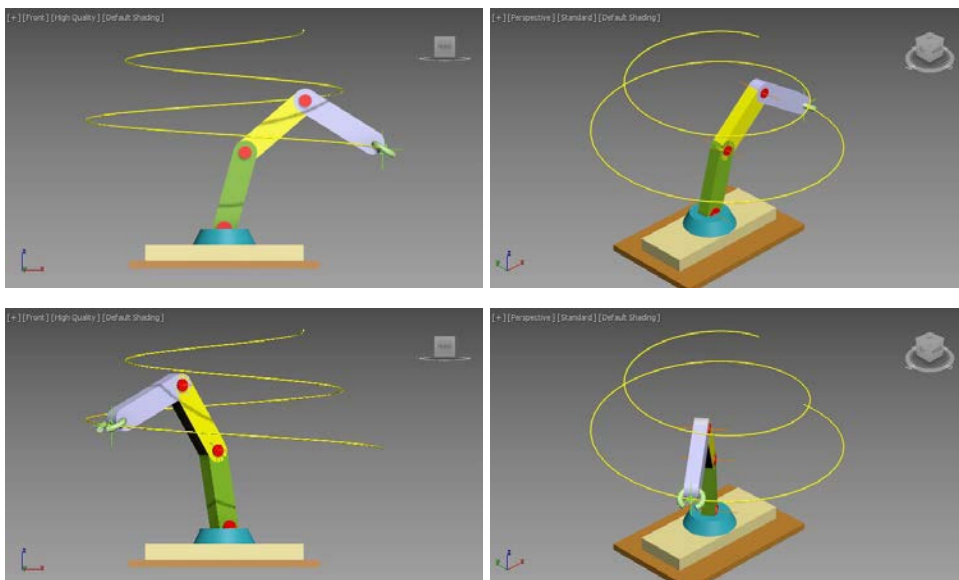


Fig. 5.47. Crearea unei traiectorii spațiale

Pentru a transforma lanțul cinematic într-un lanț spațial se propune selectarea bazei conice, deschiderea panoului **Hierarchy** și în secțiunea **Rotational Joints** se activează caseta de validare **Activate** a parametrului **Z Axis**; în acest fel lanțul cinematic creat va putea combina rotațiile după axa *Y* ale articulațiilor cilindrice rotația după axa *Z* a bazei.

Cu efectorul (tor) selectat se deschide panoul **Motion** și se atribuie acestuia noua cale **Helix001** (caseta derulantă **Path Parameters**, butonul **Add Path**).

Simularea lanțului cinematic este prezentată în fig. 5.48.



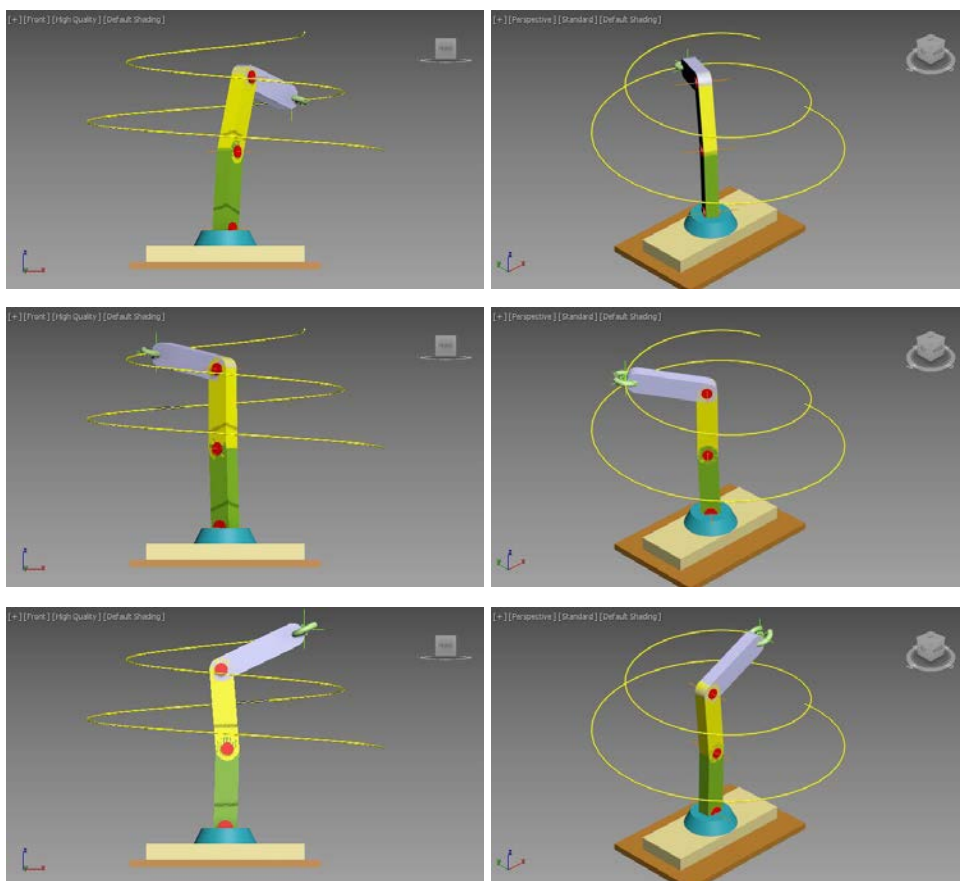


Fig. 5.48. Simularea mișcării lanțului cinematic după o traiectorie spațială

5.5. Simularea funcționării unui mecanism $R \perp T$

Pentru următoarea aplicație se propune simularea funcționării unui mecanism cu două cuple, una de rotație legată de baza fixă a mecanismului și una de translație de care este legat și eful. Simularea se va realiza cu ajutorul instrumentului **IK Solvers – HD Solver** [1].

Așadar în viewport-ul **Top** se creează două primitive **Cylinder**. Primul cilindru – care va constitui baza mecanismului (nu are mișcare) – va fi plasat în punctul de coordonate (0, 0, 0) și va avea setați parametrii **Radius** la valoarea de 150 și **Height** la -5; cel de al doilea cilindru va avea o mișcare de

rotație după axa Z, va fi plasat în punctul de coordonate (0, 0, 0) și va avea parametrii **Radius** de 100 și **Height** de 10.

Ca element de legătură între baza cu mișcare de rotație și cupla de translație, tot în viewport-ul **Top** se va crea o primitivă **Box** având parametrii **Length** de 20, **Width** de 20 și **Height** de 50 iar poziția în punctul de coordonate (0, 0, 10).

În viewport-ul **Left** se vor crea două primitive **Rectangle** cu ajutorul cărora se va realiza ghidajul cuplei de translație. Prima primitivă va fi plasată în punctul de coordonate (-60, 0, 80) având parametrii: **Length** = 20 și **Width** = 20; cea de a doua primitivă **Rectangle** va fi plasată de asemenea în punctul de coordonate (-60, 0, 80) dar va avea parametrii **Length** = 40 și **Width** = 50.

Se selectează unul dintre dreptunghiuri și în panoul **Modify** se selectează funcția de modificare **Edit Spline**; se acționează butonul **Attach** și se selectează cel de al doilea dreptunghi. Cu noua primitivă formată din cele două dreptunghiuri, în panoul **Modify** se selectează funcția de modificare **Extrude** și se setează parametrul **Amount** al acesteia la valoarea -120.

În viewport-ul **Left** se creează o primitivă **Box** având parametrii **Length** = 20 **Width** = 20 și **Height** = 600; se deplasează paralelipipedul în punctul de coordonate (300, 0, 80).

Pentru materializarea efectorului, în viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Torus**; acest tor va reprezenta elementul ce se va deplasa pe un traseu. Se setează parametrii **Radius1** la valoarea 25 și **Radius 2** la valoarea 5; se activează caseta de validare **Slice On** iar parametrii **Slice From** și **Slice To** se setează la valorile -120 respectiv -60 și se deplasează torul în punctul de coordonate (320, 0, 80).

Se creează pentru traseul de deplasare o primitivă **Circle** de rază 300 și se aliniaza la aceeași valoare a coordonatei Z ca cea a torului, respectiv se deplasează cercul în punctul de coordonate (20, -80, 80).

Pentru obiectul fictiv ce va fi urmărit de efector, se creează o primitivă **Dummy** în viewport-ul **Top** și i se atribuie un controler de poziție de tip **Path Constraint**; primitiva **Dummy** se plasează pe traseul creat anterior.

Cu ajutorul butonului **Select and Link** se leagă elementele viitorului lanț cinematic, în ordine de la efector la bază, respectiv: tor, paralelipiped, ghidaj, corp de legătură, cilindrul care va avea mișcarea de rotație, cilindrul de bază, fig. 5.49.

Cu torul selectat, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și în final comanda **HD Solver**; pentru a crea lanțul **HD Solver** și a

avea acces la definirea cuplelor de translație se trage cursorul peste cilindrul de bază, fig. 5.50 (între tor și cilindru apare o linie punctată).

Se selectează paralelipipedul care trebuie să efectueze mișcarea de translație, se deschide panoul **Hierarchy**, sub-panoul **IK**; se vor de-selecta toate cuplele din caseta derulantă **Rotational Joints**, iar în caseta derulantă **Sliding Joints** se va marca ca activă doar axa Z (casetă de validare **Active** a zonei **Z Axis**).

Se selectează ghidajul și corpul paralelipipedic de legătură iar apoi se de-selectează toate cuplele din zona **Rotational Joints** (cuplele de translație sunt implicit de-selectate).

Se selectează cilindrul de sub ghidaj, iar în panoul **Hierarchy**, sub-panoul **IK**, caseta derulantă **Rotational Joints** va rămâne marcată doar caseta de validare **Active** a axei Z.

Pentru cilindrul de bază se vor de-selecta toate casetele de validare din caseta derulantă **Rotational Joints** (cele din caseta **Sliding Joints** sunt implicit dezactivate).

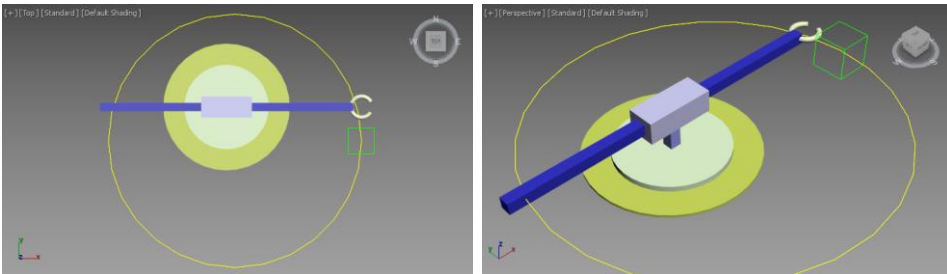


Fig. 5.49. Crearea primitivelor pentru simularea mecanismului $R \perp T$

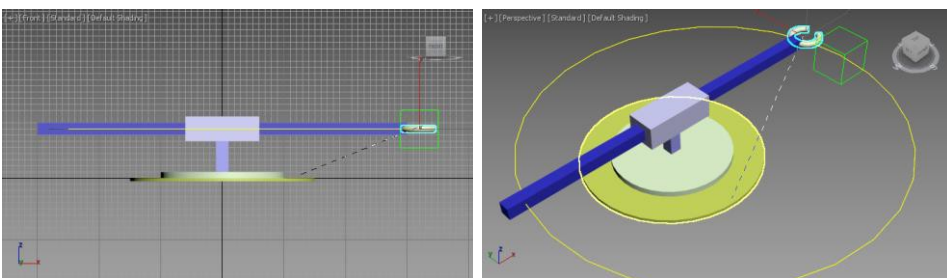
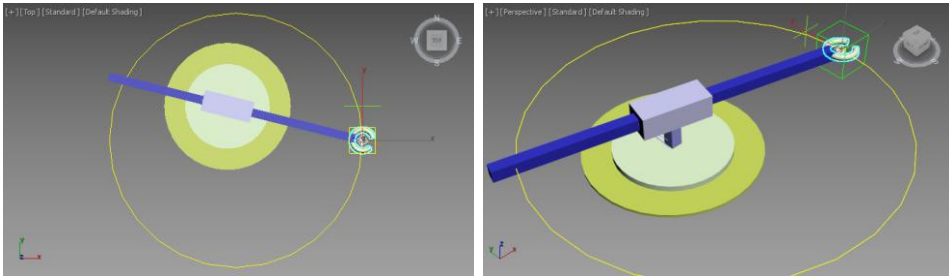
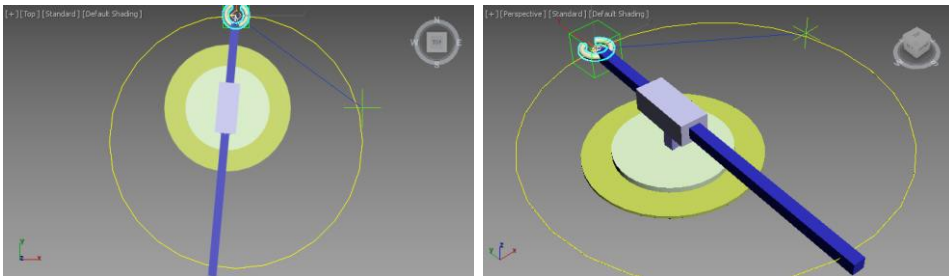


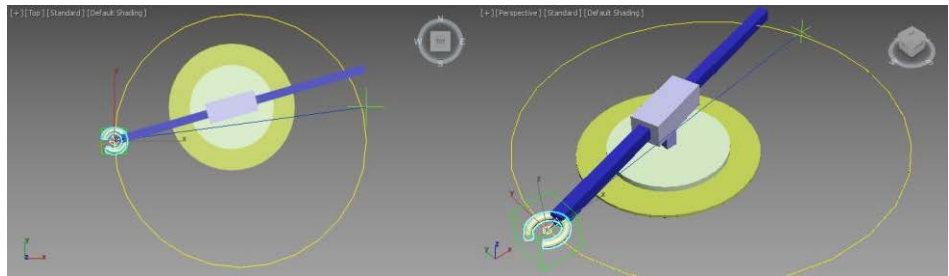
Fig. 5.50. Crearea lanțului *HD Solver*



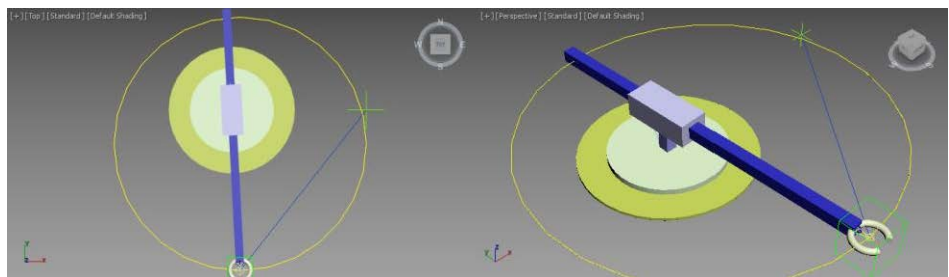
cadrul 0 – legarea sferei de obiectul Dummy



cadrul 25



cadrul 50

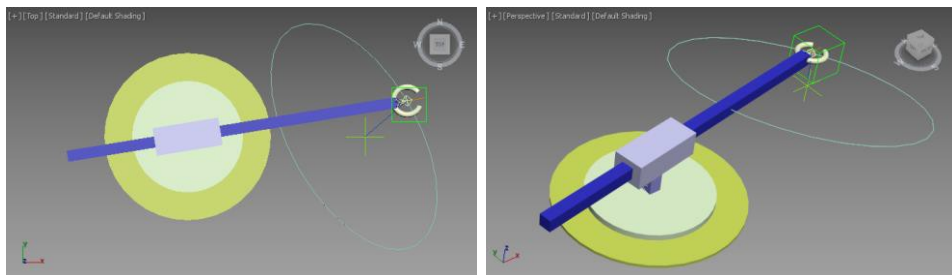


cadrul 75

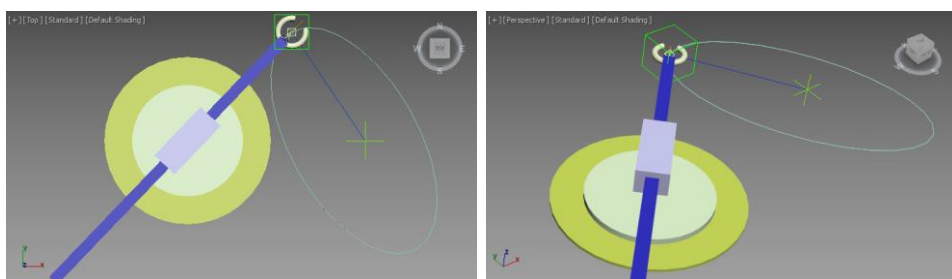
Fig. 5.51. Animația mecanismului $R \perp T$

În final se selectează torul și în secțiunea **Bind To Follow Object** se acționează butonul **Bind** și se selectează primitiva **Dummy**. În acest moment

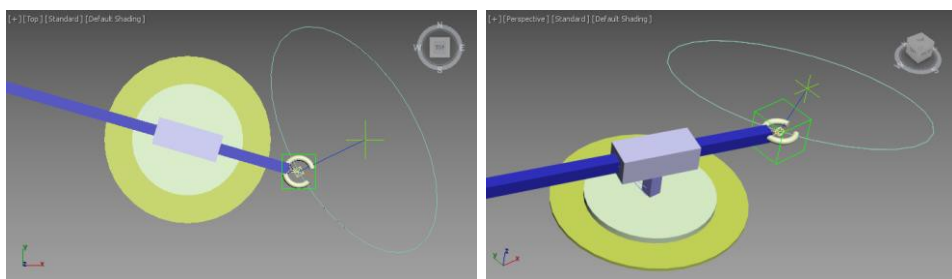
mecanismul va lua configurația necesară urmării obiectului **Dummy** fără a fi nevoie să se acționeze butonul **Apply IK**, fig. 5.51.



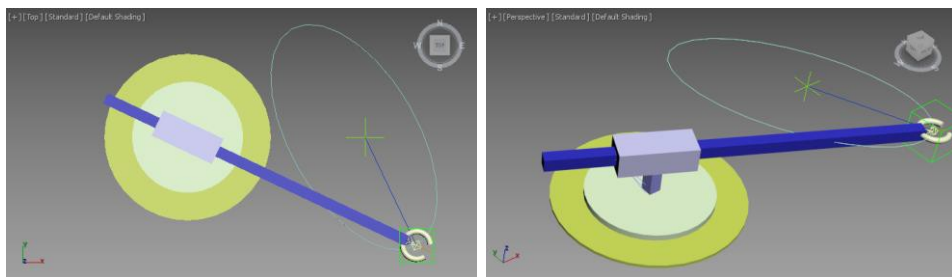
cadrul 0



cadrul 25



cadrul 50



cadrul 75

Fig. 5.52. Simularea mecanismului $R \perp T$

Modificarea curbei de urmărire a obiectului fictiv **Dummy** va conduce la modificarea traseului obiectului efector. Astfel, în fig. 5.52 s-a creat un alt traseu de urmărire, respectiv o elipsă având parametrii **Length** de 450 și **Width** de 230 iar poziția setată în punctul de coordonate (300, 0, 80) și având aplicată o rotație după axa *Z* cu 30 de grade.

Noua simulare a mecanismului este prezentată în fig. 5.52.

5.6. Simularea unui mecanism $T \perp T$

Varianta 1

Pentru prima variantă de mecanism se vor considera două piese de tip ghidaj, una plasată la bază care este fixă dar care permite deplasarea celei de a doua după axa *X*. Cel de al doilea ghidaj mobil permite deplasarea unui braț paralelipipedic după axa *Y*, braț care conține și efectorul [1].

Așadar în viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Box** având parametrii **Length** = 200, **Width** = 400 și **Height** = -10. Se plasează paralelipipedul în punctul de coordonate (0, 0, 0).

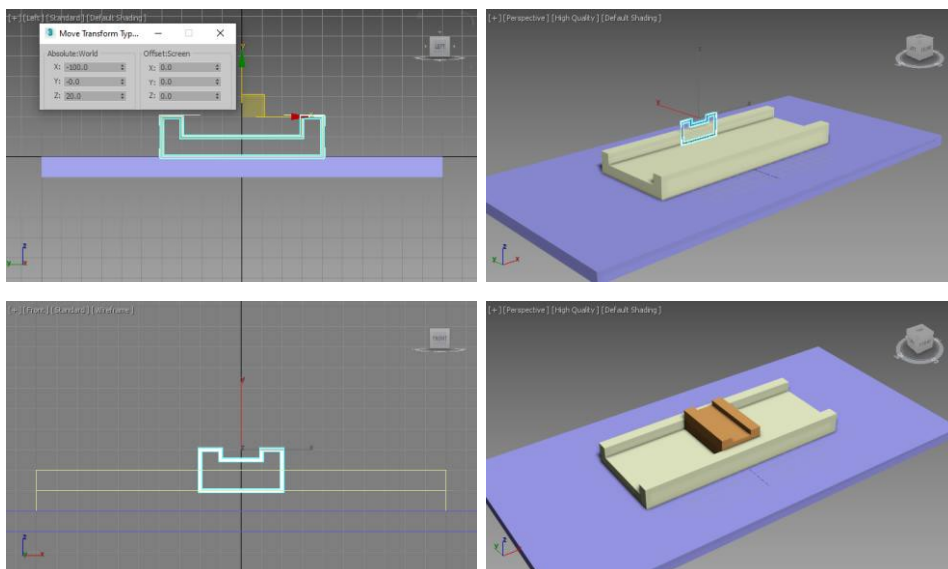


Fig. 5.53. Crearea ghidajelor

Profilul primului ghidaj se va realiza cu ajutorul comenzii **Line** în viewport-ul **Left** și va fi plasat la distanța -100 pe axa X ; în final curbei *spline* închise se va aplica o funcție de modificare **Extrude** având parametrul **Amount** setat la valoarea -200. Profilul celui de al doilea ghidaj se va realiza folosind tot comanda **Line**, dar în viewport-ul **Front** și va fi plasat pe axa Y la o valoare corespunzătoare vertex-urilor de pe zonele laterale ale ghidajului anterior. Se aplică funcția de modificare **Extrude** la o valoare a parametrului **Amount** impusă de lățimea interioară a ghidajului anterior, fig. 5.53.

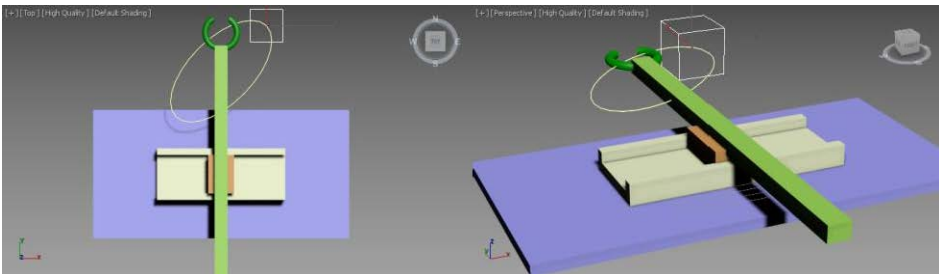


Fig. 5.54. Crearea scenei pentru mecanismului $T \perp T$

În viewport-ul **Front** se creează o primitivă **Box** de dimensiuni corespunzătoare locașului interior al ghidajului superior și se plasează corespunzător față de acesta.

În viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Torus** care va reprezenta efectorul mecanismului și se plasează după axa Z în dreptul paralelipipedului creat anterior. Pentru prezentul exemplu s-a utilizat pentru tor și opțiunea **Slice On**.

În viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Ellipse** care va reprezenta traseul de deplasare; coordonata Z a acesteia va aceeași cu cea a sferei.

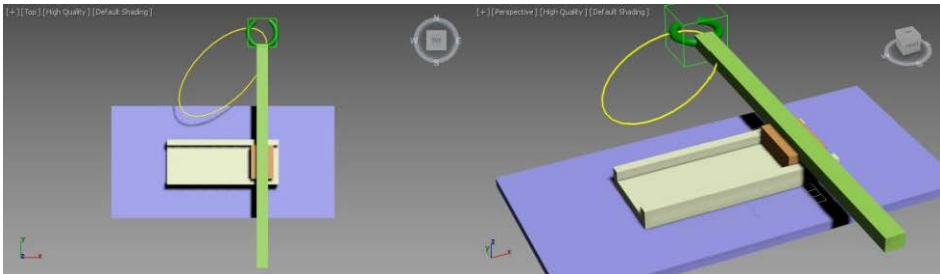
Se creează o primitivă **Dummy** în viewport-ul **Top**. Cu ajutorul panoului **Motion** se atribuie acesteia un controler de poziție de tip **Path Constraint** iar ca traseu de deplasare se atribuie elipsa creată, fig. 5.54.

Cu butonul **Select and Link** activ se va crea lanțul cinematic în ordinea efector – bază, respectiv legarea se va realiza în ordinea: tor, paralelipiped, ghidaj superior, ghidaj inferior, bază.

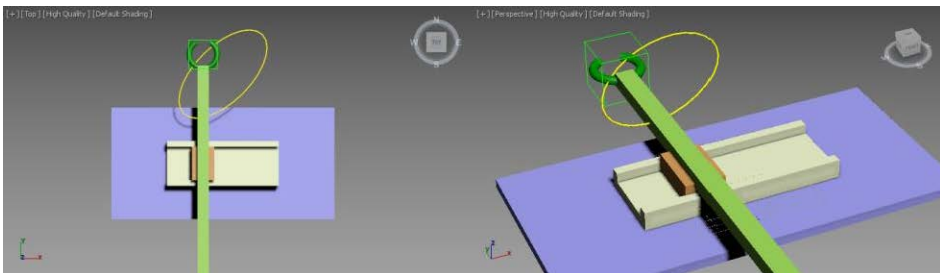
Se selectează sfera și din meniul **Animation, IK Solvers** se alege **HD Solver** după care mouse-ul se va trage peste baza paralelipipedică.

Pentru primitiva **Box** care reprezintă brațul efectorului, în panoul **Hierarchy**, caseta derulantă **Sliding Joints** se marchează doar caseta de

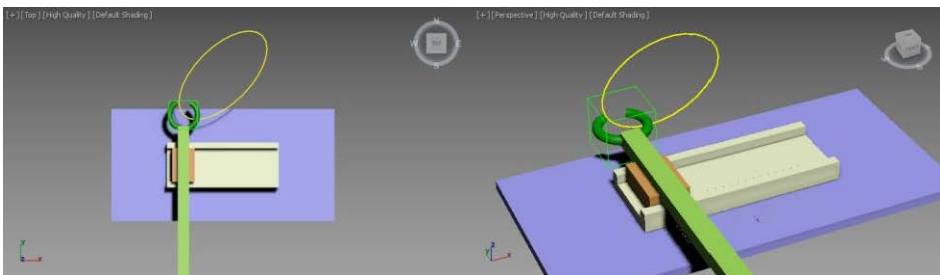
validare **Active** a axei Z; se vor de-selecta toate casetele de validare ale casetei **Rotational Joints**.



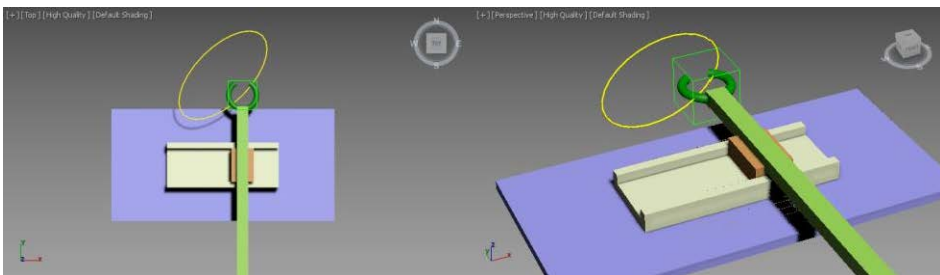
cadrul 0



cadrul 25



cadrul 50



cadrul 75

Fig. 5.55. Animația mecanismului $T \perp T$

Pentru ghidajul superior în caseta derulantă **Sliding Joints** se va marca caseta de validare **Active** a axei Z și se vor de-selecta toate cuplele de rotație.

Pentru ghidajul inferior și baza paralelipipedică se vor de-selecta toate cuplele de rotație (cele de translație sunt implicit dezactivate).

Se selectează torul și cu butonul **Bind** activ se trage mouse-ul peste primitiva **Dummy**. Se rulează animația, fig. 5.55.

Varianta 2

Pentru următorul exemplu se consideră cele două cuple de translație perpendiculare una pe cealaltă dar materializate de două tuburi prismatice rigidizate printr-o tijă de legătură [1].

Pentru realizarea tubului prismatic inferior, în viewport-ul **Front** se vor crea două primitive **Rectangle**; prima primitivă va fi plasată în punctul de coordonate (0, -60, 0) având parametrii: **Length** = 20 și **Width** = 20; cea de a doua primitivă **Rectangle** va fi plasată de asemenea în punctul de coordonate (0, -60, 0) dar va avea parametrii **Length** = 40 și **Width** = 50.

În viewport-ul **Left** se vor crea două primitive **Rectangle** cu ajutorul cărora se va realiza ghidajul cuplei de translație superioare. Prima primitivă va fi plasată în punctul de coordonate (-60, 0, 80) având parametrii: **Length** = 20 și **Width** = 20; cea de a doua primitivă **Rectangle** va fi plasată de asemenea în punctul de coordonate (-60, 0, 80) dar va avea parametrii **Length** = 40 și **Width** = 50.

În viewport-urile **Left** și **Front** se creează câte o primitivă **Box** având parametrii **Length** = 20 **Width** = 20 și **Height** = 400; se deplasează paralelipedele în punctele de coordonate (200, 0, 80), respectiv (0, 200, 0).

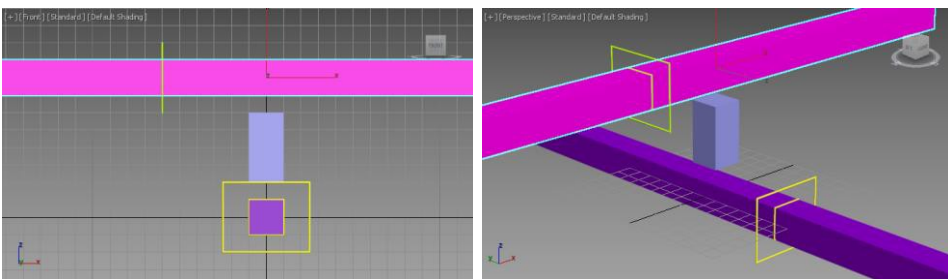


Fig. 5.56. Modelarea geometrică a mecanismului

Ca element de legătură între cele două pastile tubulare, în viewport-ul **Top** se va crea o primitivă **Box** având parametrii **Length** de 20, **Width** de 20 și **Height** de 40 iar poziția în punctul de coordonate (0, 0, 20), fig. 5.56.

Pentru finalizarea celor două tuburi prismatice, se va selecta pe rând unul dintre dreptunghiuri și în panoul **Modify** se selectează funcția de modificare **Edit Spline**; se acționează butonul **Attach** și se selectează cel de al doilea dreptunghi corespunzător tubului dorit. Cu noua primitivă formată din cele două dreptunghiuri, în panoul **Modify** se selectează funcția de modificare **Extrude** și se setează parametrul **Amount** al acesteia la valoarea -120, fig. 5.57.

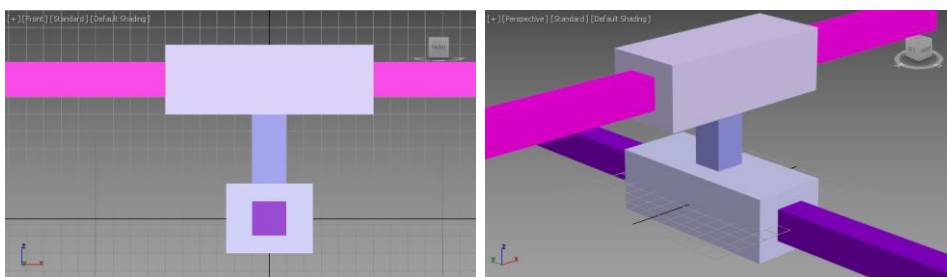


Fig. 5.57. Modelarea geometrică a celor două tuburi prismatice

În viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Torus** care va reprezenta efectorul mecanismului și se plasează după axa **Z** în dreptul paralelipipedului creat anterior. Pentru prezentul exemplu s-a utilizat pentru tor și opțiunea **Slice On** cu parametrii **Slice From** și **Slice To** setați la valorile -120 respectiv -60 și se deplasează torul în punctul de coordonate (220, 0, 80).

În viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Ellipse** care va reprezenta traseul de deplasare; coordonata **Z** a acesteia va fi aceeași cu cea a torului; de asemenea pentru această elipsă s-a aplicat o rotație de 45 de grade după axa **Z**.

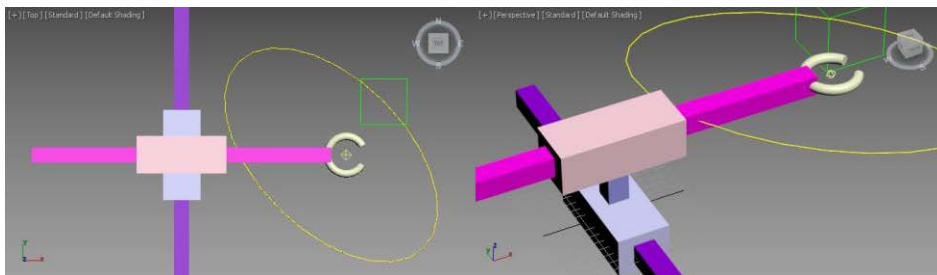
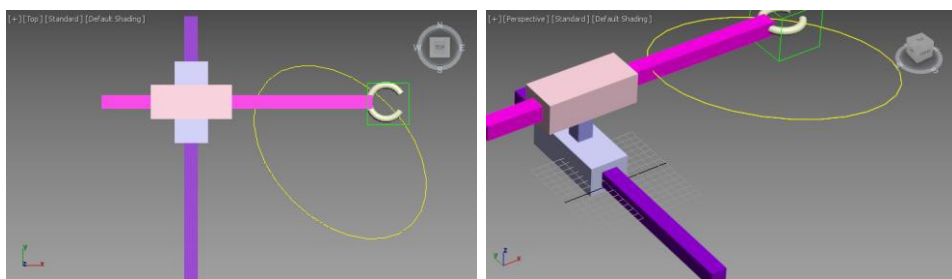
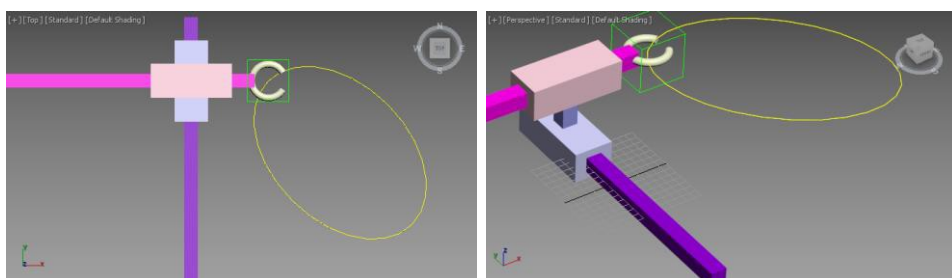
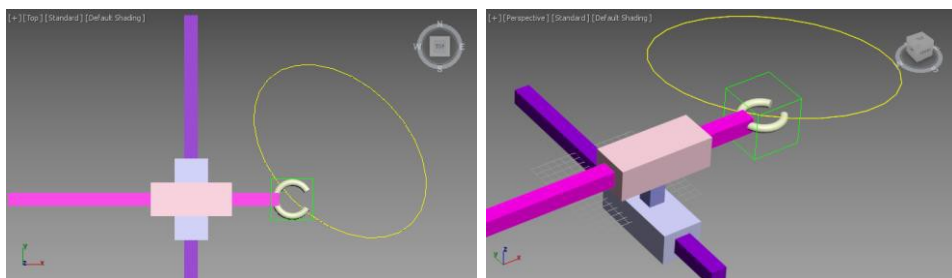
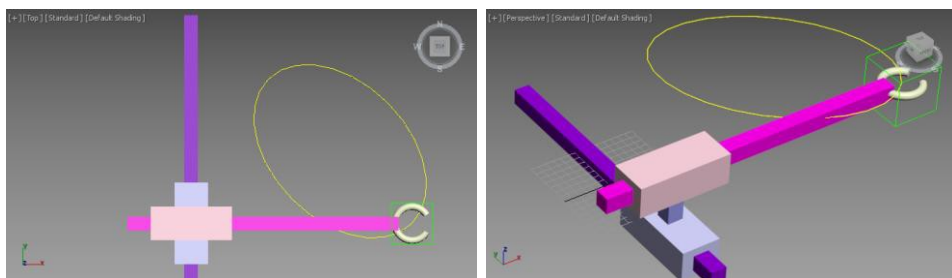


Fig. 5.58. Finalizarea geometricei scenei

*cadrul 0**cadrul 25**cadrul 50**cadrul 75***Fig. 5.59.** Animația mecanismului $T \perp T$

În viewport-ul **Top** se creează o primitivă **Dummy**, iar cu ajutorul panoului **Motion** se atribuie acesteia un controler de poziție de tip **Path Constraint**, iar ca traseu de deplasare se atribuie elipsa creată, fig. 5.58.

Cu butonul **Select and Link** activ se va crea lanțul cinematic în ordinea efector – bază, respectiv legarea se va realiza în ordinea: tor, paralelipiped, ghidaj superior, ghidaj inferior, bază.

Se selectează torul și din meniul **Animation, IK Solvers** se alege **HD Solver** după care mouse-ul se va trage peste baza paralelipipedică.

Pentru primitiva **Box** care reprezintă brațul efectorului, în panoul **Hierarchy**, caseta derulantă **Sliding Joints** se marchează doar caseta de validare **Active** a axei **Z**; se vor de-selecta toate casetele de validare ale casetei **Rotational Joints**.

Se selectează tubul prismatic inferior care trebuie să efectueze mișcarea de translație, se deschide panoul **Hierarchy**, sub-panoul **IK**; se vor de-selecta toate cuplele din caseta derulantă **Rotational Joints**, iar în caseta derulantă **Sliding Joints** se va marca ca activă doar axa **Z** (caseta de validare **Active** a zonei **Z Axis**).

Pentru tubul prismatic superior, elementul de legătură și paralelipipedul inferior se vor de-selecta toate cuplele de rotație (cele de translație sunt implicit dezactivate).

Se selectează torul și cu ajutorul butonului **Bind** activ se trage mouse-ul peste primitiva **Dummy**. Se rulează animația, fig. 5.59.

5.7. Simularea mecanismului $R \parallel T \perp T$

Pentru modelare geometrică a mecanismului $R \parallel T \perp T$ se vor folosi primitive de tip **Cylinder** și **Box**. Astfel, pentru realizarea bazei, în viewport-ul **Top** se creează doi cilindri în punctul de coordonate (0, 0, 0) având parametrii: **Radius** = 100, **Height** = -15 și respectiv, **Radius** = 40, **Height** = 20 (acesta din urmă va materializa cupla de rotație) [1].

Suportul central al mecanismului va fi reprezentat de o primitivă **Box**, plasată în punctul de coordonate (0, 0, 0) (viewport-ul **Top**) și având următorii parametri: **Length** = 20, **Width** = 20 și **Height** = 300. Pe acest suport se va deplasa după axa **Z** o altă primitivă **Box** creată inițial în punctul de coordonate (0, 10, 130) (acest paralelipiped este descentrat față de suport după axa **Y**

pentru a putea crea brațul mecanismului prin interiorul acestuia, poziția (0, 10 130)) și având dimensiunile **Lenght** = 60, **Width** = 40 și **Height** = 40.

Brațul mecanismului se va realiza în viewport-ul **Left** la dimensiunile **Lenght** = 10, **Width** = 10, **Height** = 200 și având originea în punctul de coordonate (100, 25, 150) (acesta va realiza o translație după axa X).

Efactorul va fi reprezentat de o primitivă **Torus** de raze 15 și 3, realizată în viewport-ul **Top** și având punctul de coordonate (115, 25, 150); pentru parametrii **Slice From** și **Slice To** s-au folosit valorile -120 și -60 (casetă de validare **Slice On** este marcată).

În viewport-ul **Top** se realizează traseul de deplasare, reprezentat de o primitivă **Helix** (**Radius 1** = 80, **Radius 2** = 160, **Height** = 180, **Turns** = 3, punctul de coordonate (0, 0, 90)). De asemenea este realizată o primitivă **Dummy** căreia i se atribuie un controler de poziție de tip **Path Constraint**, iar ca traseu de deplasare i se atribuie primitiva **Helix** realizată anterior, fig. 5.60.

Cu ajutorul butonului **Select and Link** se realizează legarea brațelor și a articulațiilor mecanismului, legarea elementelor realizându-se în ordine de la efector către bază, respectiv: tor, braț orizontal (translație după X), cuplă de translație pe verticală (translație după Z), suport central, cuplă de rotație după Z (cilindru), cilindrul de bază.

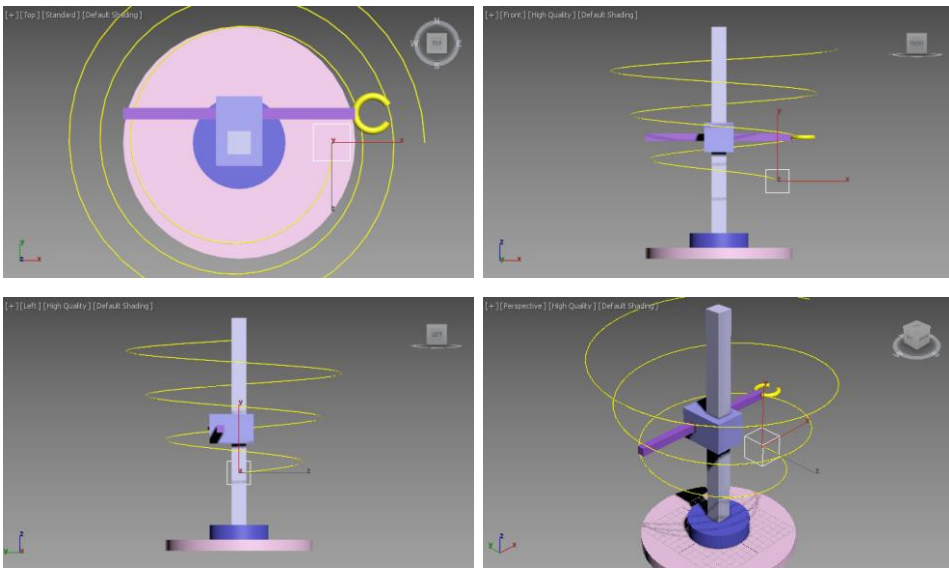
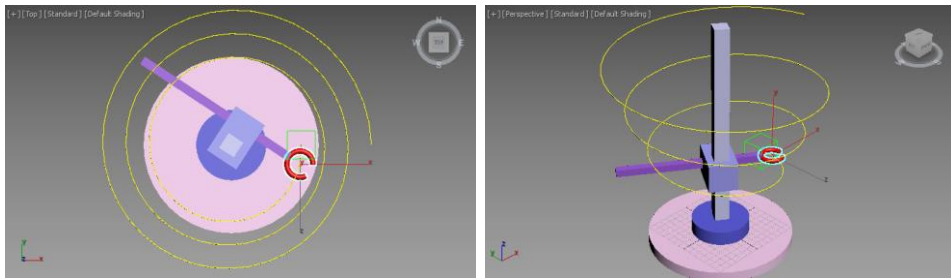
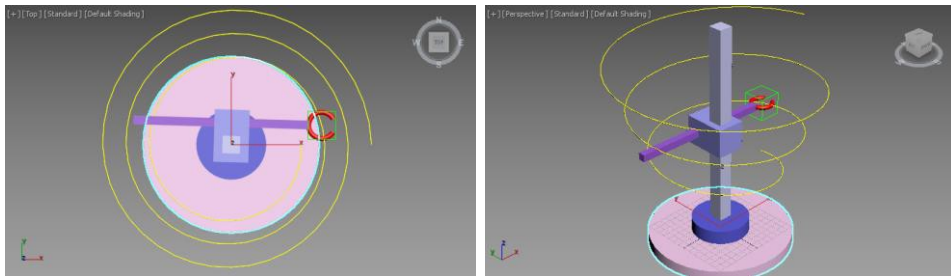


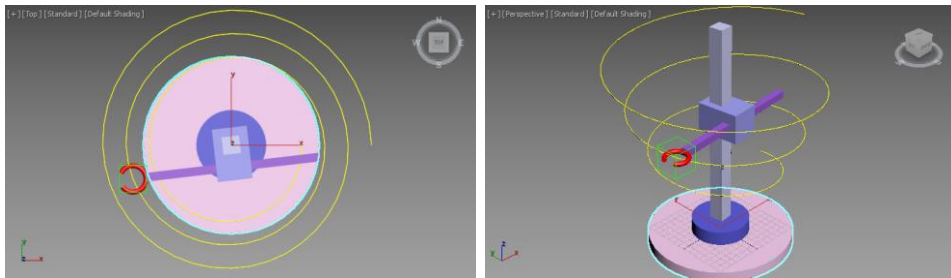
Fig. 5.60. Realizarea scenei pentru mecanismului $R // T \perp T$



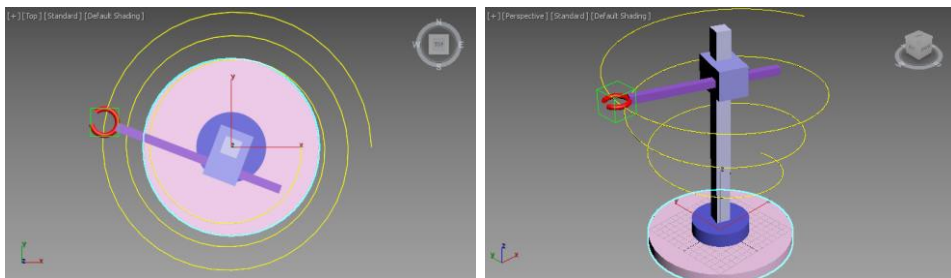
cadrul 0



cadrul 25



cadrul 40



cadrul 80

Fig. 5.61. Configurația mecanismului $R \parallel T \perp T$ la diverse cadre

Se selectează torul, se aplică **HD Solver** (meniul **Animation, IK Solvers**) și se selectează cilindrul de bază al mecanismului. În acest fel vor deveni disponibile translațiile pentru toate elementele mecanismului.

Se selectează pe rând toate elementele mecanismului și se setează corespunzător parametrii **Active** din casetele derulante **Rotational Joints** și **Sliding Joints**. Astfel pentru brațul mecanismului se va activa doar parametrul **Active** al axei X din caseta derulantă **Sliding Joints**; pentru cupla de translație (paralelipipedul prin care trece brațul orizontal) se activează doar translația după Z ; pentru cilindrul de deasupra bazei se activează doar rotația după axa Z .

Se selectează torul, se acționează butonul **Bind** al casetei derulante **Bind To Follow Object** și se trage mouse-ul peste primitiva **Dummy**.

Simularea funcționării mecanismului este prezentată în fig. 5.61.

5.8. Simularea funcționării mecanismului $T \perp T \perp T$

Următoarea aplicație propune simularea funcționării unui mecanism cu trei cuple de translație, toate aceste cuple fiind perpendiculare una pe cealaltă.

Pentru modelare geometrică a mecanismului se pornește de la realizarea bazei, respectiv în viewport-ul **Top** se creează un cilindru în punctul de coordonate $(0, 0, 0)$ având parametrii: **Radius** = 100, **Height** = -15.

Suportul central al mecanismului va fi reprezentat de o primitivă **Box**, plasată în punctul de coordonate $(0, 0, 0)$ (viewport-ul **Top**) și având următorii parametri: **Length** = 20, **Width** = 20 și **Height** = 300. Pe acest suport se va deplasa după axa Z o altă primitivă **Box** creată inițial în punctul de coordonate $(0, 10, 130)$ (acest paralelipiped este descentrat față de suport după axa Y pentru a putea crea un braț al mecanismului prin interiorul acestuia, poziția $(0, 10, 130)$) și având dimensiunile **Length** = 60, **Width** = 40 și **Height** = 40.

Primul braț al mecanismului se va realiza în viewport-ul **Left** la dimensiunile **Length** = 15, **Width** = 15, **Height** = 200 și având originea în punctul de coordonate $(100, 25, 150)$ (acesta va realiza o translație după axa X).

Următorul braț va avea mișcare de translație prin interiorul brațului construit anterior și va fi materializat de o primitivă **Box** creată în viewport-

ul **Front** în poziția (90, 100, 150) și având dimensiunile **Length** = 10, **Width** = 10, **Height** = 200.

Efactorul va fi reprezentat de o primitivă **Torus** având razele 15 și 3, realizată în viewport-ul **Top** și având punctul de coordonate (90, 115, 150); caseta de validare **Slice On** este marcată iar pentru parametrii **Slice From** și **Slice To** s-au folosit valorile -30 și 30.

În viewport-ul **Top** se realizează traseul de deplasare, reprezentat de o primitivă **Helix** (**Radius 1** = 60, **Radius 2** = 20, **Height** = 200, **Turns** = 3, punctul de coordonate (100, 120, 50)). De asemenea este necesară realizarea un obiect fictiv **Dummy** căruia i se aplică un controler de poziție de tip **Path Constraint**, iar ca traseu de deplasare i se atribuie primitiva **Helix** realizată anterior, fig. 5.62 [1].

Cu ajutorul butonului **Select and Link** se realizează legarea brațelor și a articulațiilor mecanismului, legarea elementelor realizându-se în ordine de la efactor către bază, respectiv: tor, braț orizontal (translație după *Y*), braț orizontal (translație după *X*), cuplă de translație pe verticală (translație după *Z*), suport central, cilindrul de bază.

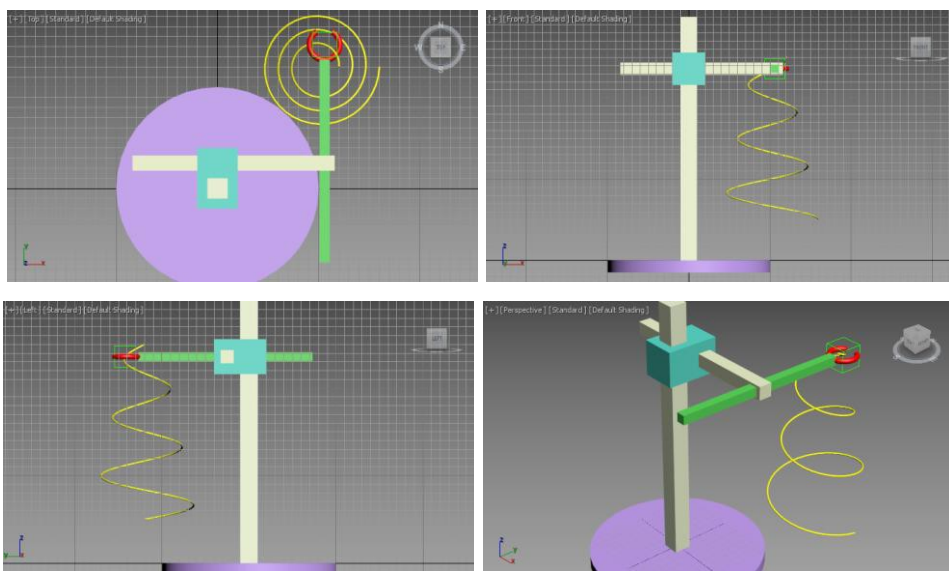
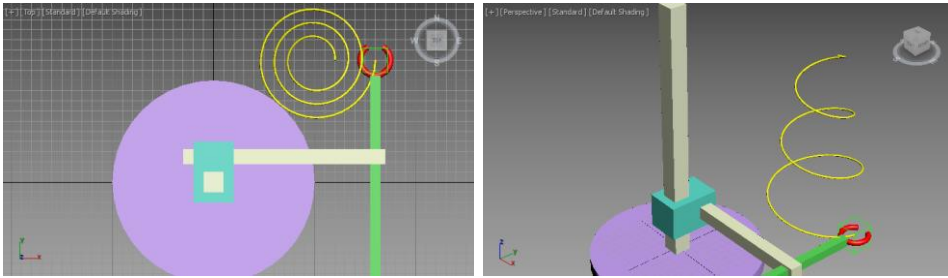
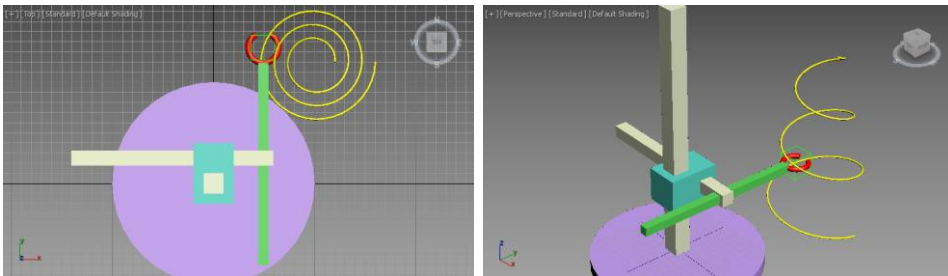


Fig. 5.62. Realizarea scenei pentru mecanismului $T \perp T \perp T$

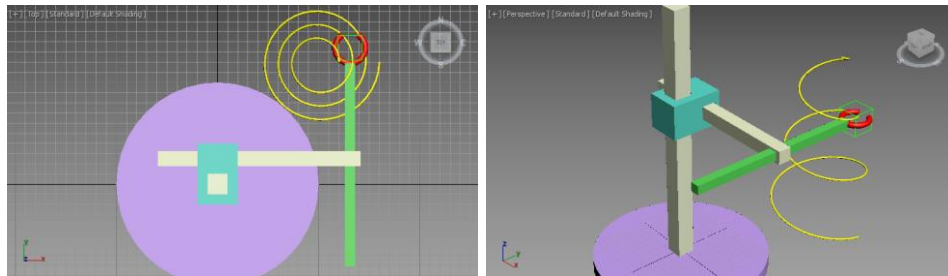
Se selectează torul, se aplică **HD Solver** (meniul **Animation, IK Solvers**) și se selectează cilindrul de bază al mecanismului. În acest fel vor deveni disponibile opțiunile pentru activarea translațiilor pentru toate elementele mecanismului.



cadrul 0



cadrul 25



cadrul 75

Fig. 5.63. Configurația mecanismului $T \perp T \perp T$ la diverse cadre

Se selectează pe rând toate elementele mecanismului și se setează corespunzător parametrii **Active** din casetele derulante **Rotational Joints** și **Sliding Joints**. Astfel pentru brațele orizontale ale mecanismului se va activa doar parametrul **Active** al axei X din caseta derulantă **Sliding Joints**; pentru cupla de translație (paralelipipedul de pe suportul vertical) se activează doar translația după Z .

Se selectează torul, se acționează butonul **Bind** al casetei derulante **Bind To Follow Object** și se trage mouse-ul peste primitiva **Dummy**.

Simularea funcționării mecanismului este prezentată în fig. 6.63.

6. SIMULAREA CU AJUTORUL IK SI AL CONTROLERELOR DE TIP CONSTRAINT

6.1. Simularea funcționării unui piston hidraulic folosind controlerul LookAt Constraint

Pentru primul exemplu de piston hidraulic se consideră o construcție simplă obținută din patru cilindrii. Astfel cilindrii transversali superior și inferior se creează în viewport-ul **Front** având parametrii **Radius** și **Height** setați la valorile 25 și 50 respectiv 20 și 50; se recomandă deplasarea corespunzătoare a pivotului celor doi cilindrii în centrul înălțimii (de fapt este vorba de comanda **Affect Object Only** aflată în sub-panoul **Pivot** a panoului de comandă **Hierarchy**). Pozițiile celor doi cilindrii sunt setate în punctele de coordonate (0, 0, 150) și (0, 0, 0) [1, 11].

Cilindrii longitudinali care vor efectua deplasarea unuia în interiorul celuilalt, se vor crea în viewport-ul **Top**; cilindrul inferior va avea setată raza la valoarea 15 și înălțimea la valoarea 100 iar cilindrul superior va avea raza de 20 și înălțimea de -75. Pivotul cilindrului inferior se va seta în punctul de coordonate (0, 0, 0) adică în centrul cilindrului transversal inferior; pentru coloana superioară verticală se va seta punctul de coordonate în (0, 0, 150), respectiv în punctul pivot al cilindrului transversal superior, dar deoarece valoare înălțimii este negativă acest cilindru va cuprinde cilindrul inferior, fig. 6.1.

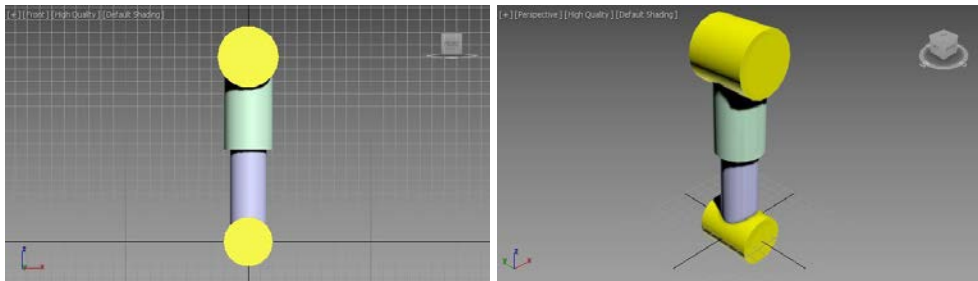


Fig. 6.1. Crearea pistonului hidraulic

În următoarea etapă cu ajutorul butonului **Select and Link**, se vor lega pe rând cilindrii longitudinali cu cilindri transversali a căror puncte pivot coincid. Așadar cilindrul longitudinal inferior se leagă de cilindrul transversal inferior iar cilindrul longitudinal superior se va lega de cilindrul transversal superior, fig. 6.2.

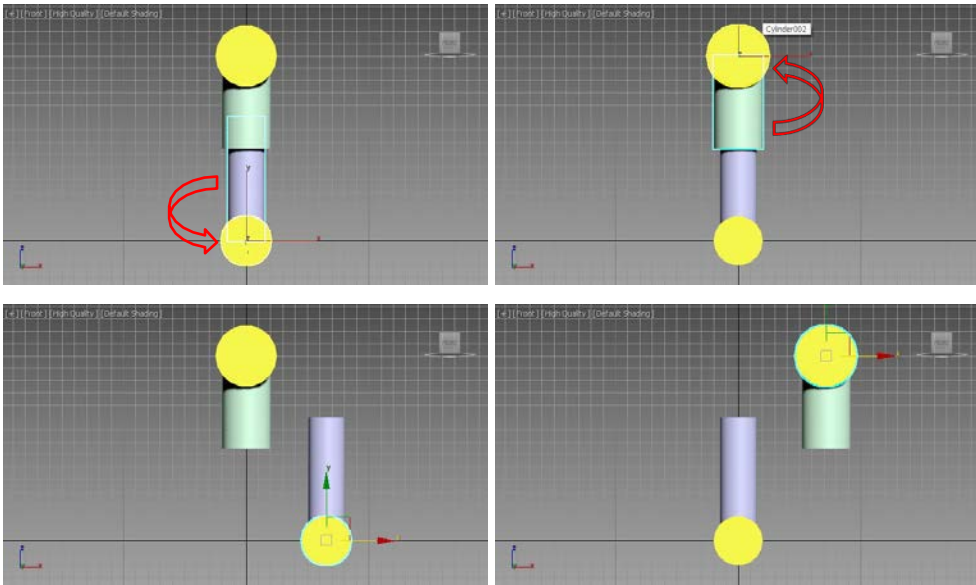


Fig. 6.2. Verificarea legăturilor lanțului cinematic

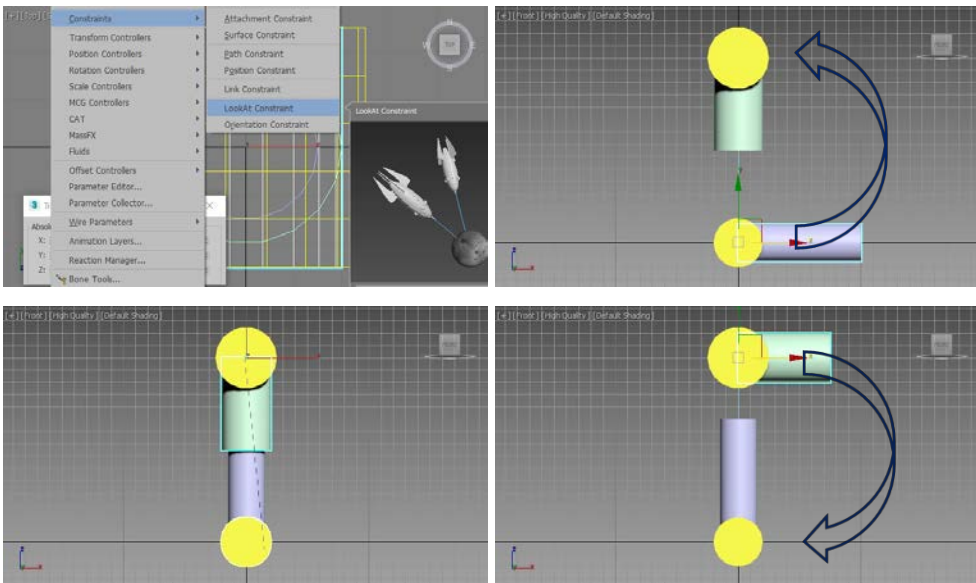


Fig. 6.3. Aplicarea comenzii *LookAt Constraint*

După realizarea legăturilor se poate verifica corectitudinea realizării acestora, fig. 6.2.

Revenind la configurația inițială a structurii realizate cu cilindrul longitudinal de jos selectat, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **Constraints**, comanda **LookAt Constraint** și se execută clic pe cilindrul transversal superior, fig. 6.3.

În acest fel cilindrul longitudinal inferior privește spre cilindrul transversal superior, dar dacă rezultatul nu este cel dorit, ca în fig. 6.3, acest aspect se poate remedia prin de-selectare casetei radio **Keep Initial Offset** și selectarea butonului radio **Z** al secțiunii **Select LookAt Axis**.

În mod asemănător ca mai sus, cilindrului longitudinal superior i se atribuie un controler **LookAt Constraint**, ținta de această dată fiind reprezentată de cilindrul transversal inferior, fig. 6.3.

Și de această dată ar putea fi necesară de-selectarea casetei de validare **Keep Initial Offset** și selectarea butonului radio **Z** al secțiunii **Select LookAt Axis**, iar în plus marcarea caseta de validare **Flip**.

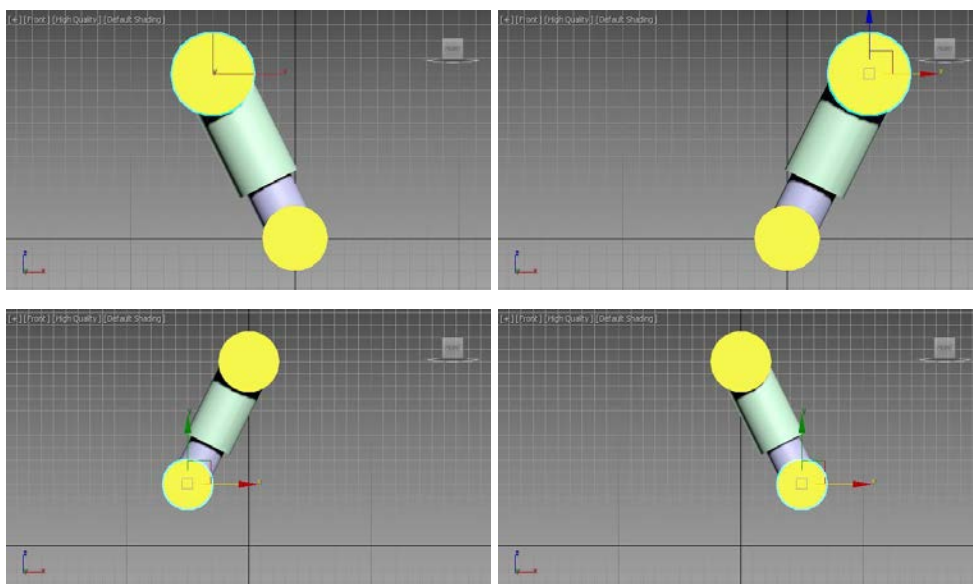


Fig. 6.4. Funcționarea pistonului

Pentru verificarea funcționării pistonului se poate realiza deplasarea cilindrului transversal superior sau inferior, fig. 6.4.

6.2. Simularea funcționării unui piston hidraulic folosind controlerul **Position Constraint** și **LookAt Constraint**

Pentru următorul piston hidraulic se va porni de la geometria și rezultatul obținut pentru cel construit în capitolul precedent; acest nou piston se va completa cu un nou cilindru longitudinal intermediar [11].

Așadar pentru cilindrul superior longitudinal se va seta înălțimea la valoare de -100; poziția punctului pivot al celor doi cilindri superiori legați va deveni (0, 0, 250).

În ceea ce privește legăturile realizate și controlerle aplicate acestea vor rămâne identice (practic se poate folosi exemplul precedent care va fi modificat și completat).

Pentru cilindrul intermediar se vor folosi pentru rază valoarea de 17.5 iar pentru înălțime valoarea de 120. Foarte important este ca punctul pivot al acestui cilindru să fie deplasat la jumătatea înălțimii acestuia (se utilizează comanda **Affect Pivot Only** a sub-panoului **Pivot** al panoului **Hierarchy**).

Punctul pivot al cilindrului intermediar va fi setat la valoarea (0, 0, 125), fig. 6.5.

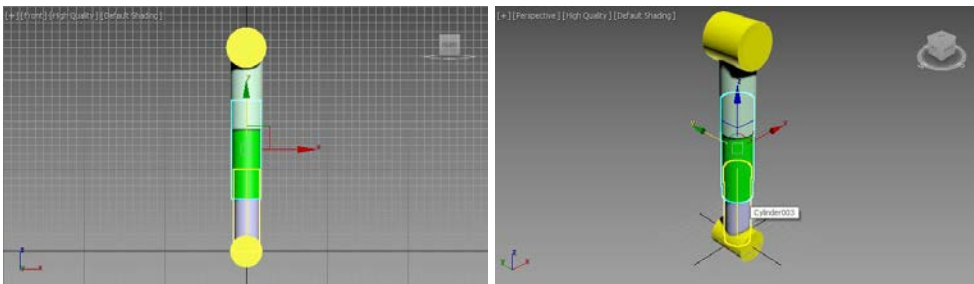


Fig. 6.5. Geometria noului piston

După obținerea configurației dorite cu cilindrul longitudinal intermediar selectat, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **Constraints** și se alege comanda **Position Constraint** după care se execută clic pe cilindrul transversal superior. În acest fel poziția cilindrului intermediar este constrânsă să urmărească poziția cilindrului transversal superior.

Totuși această constrângere nu este suficientă și este necesară adăugarea unei noi ținte reprezentată de cilindrul transversal inferior; pentru

aceasta se deschide panoul de comandă **Motion**, cu cilindrul intermediar selectat, iar în secțiunea **Position Constraint** se acționează butonul de comandă **Add Position Target** care permite adăugarea cilindrului transversal inferior ca nouă țintă, fig. 6.6.

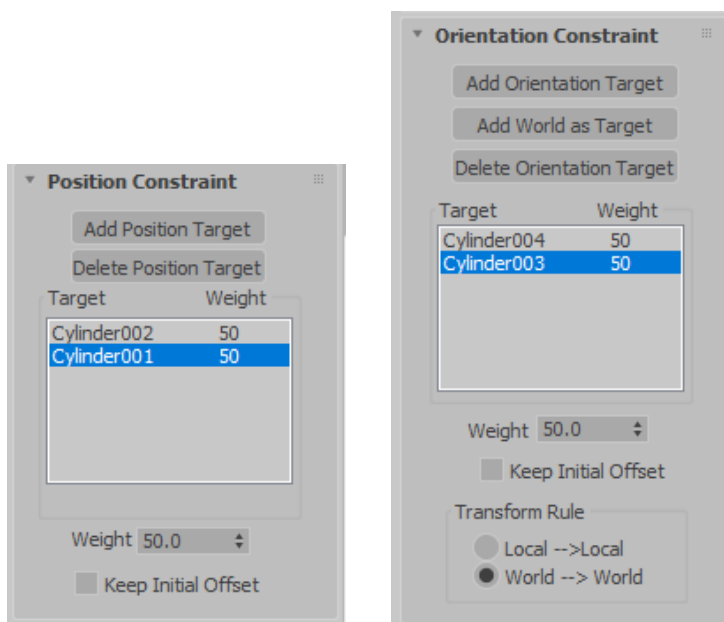


Fig. 6.6. Adăugarea țintelor pentru controlerile *Position Constraint* și *LookAt Constraint*

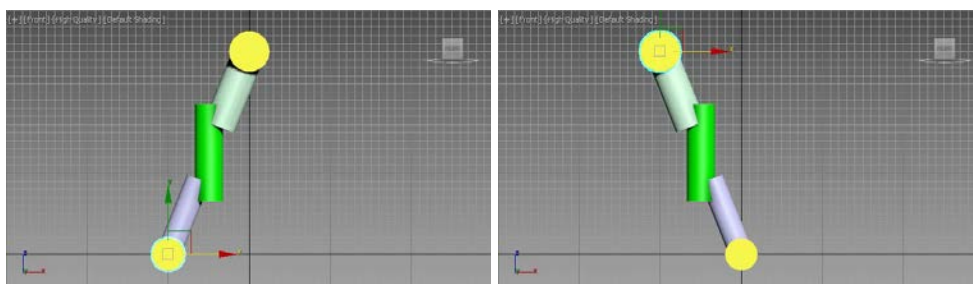


Fig. 6.7. Verificarea funcționării pistonului după aplicarea controlerului *Position Constraint*

Dacă se dorește verificarea funcționării pistonului și se aplică o mișcare de translație cilindrului transversal superior sau inferior se poate observa că rezultatul nu este cel dorit, fig. 6.7.

În această nouă situație este necesară adaptarea orientării cilindrului intermediar la orientările cilindrilor longitudinali. Pentru aceasta se va selecta

cilindrul intermediar, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **Constraints**, comanda **LookAt Constraint** și se execută clic pe cilindrul longitudinal superior.

În acest fel cilindrul intermediar urmărește orientarea cilindrului longitudinal superior, dar trebuie să urmărească și orientarea cilindrului longitudinal inferior; pentru aceasta se deschide panoul de comandă **Motion**, iar în secțiunea **Orientation Constraint** se acționează butonul de comandă **Add Orientation Target** care permite adăugarea cilindrului longitudinal inferior ca nouă țintă, fig. 6.6.

De această dată deplasarea cilindrului transversal superior sau inferior conduce la o funcționare corectă a pistonului hidraulic fig. 6.8.

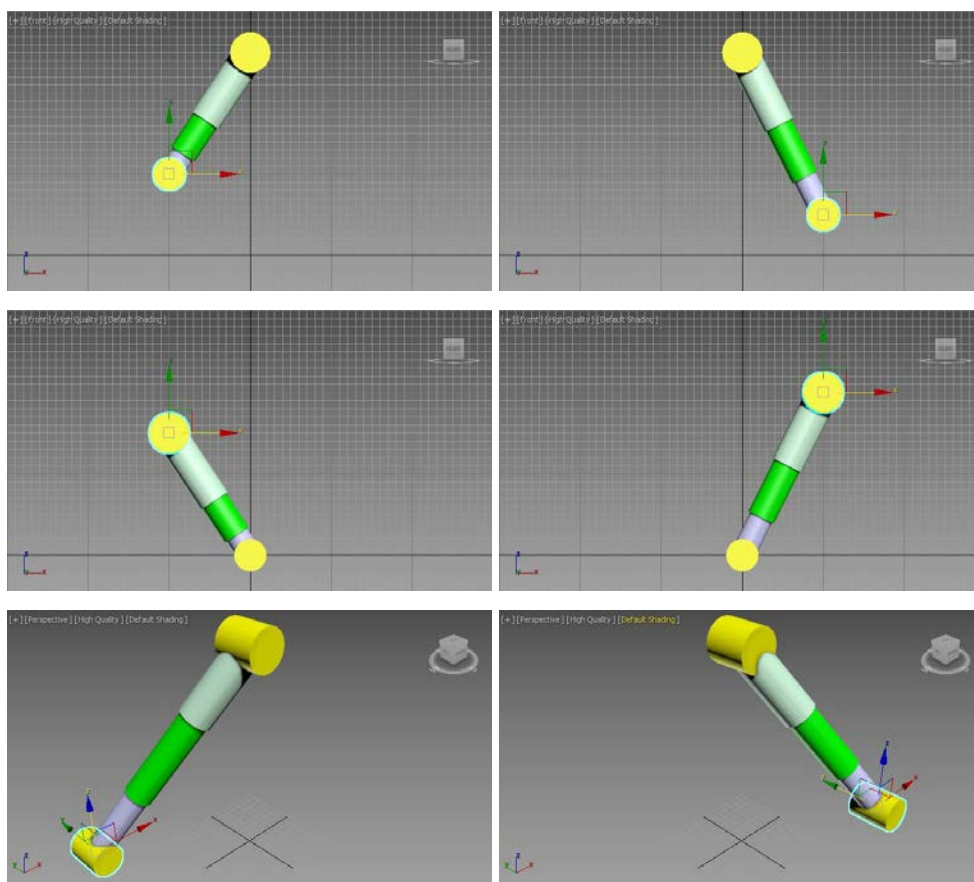


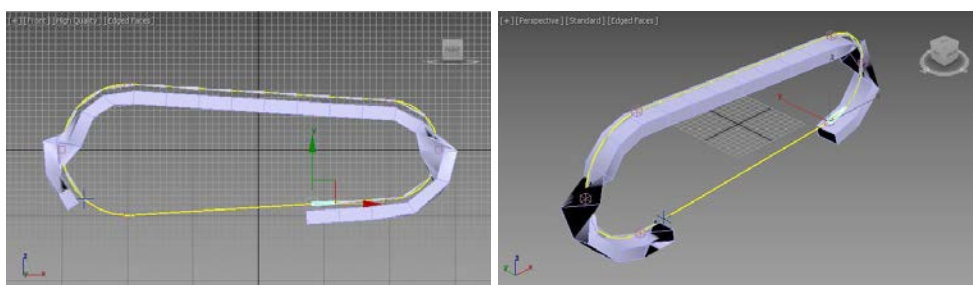
Fig. 6.8. Verificarea funcționării pistonului hidraulic

6.3. Sisteme Bones și comanda Spline IK Solver

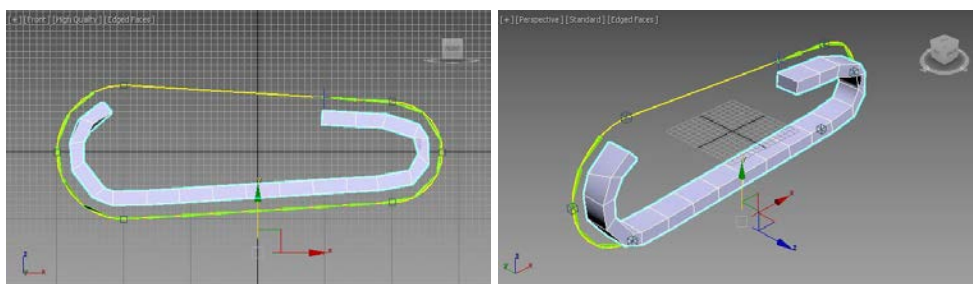
Exemplificarea utilizării comenzii **Spline IK Solver** se va realiza pe o structură ce poate fi utilizată la realizarea șinelor sau curelelor și lanțurilor de transmisie.

Înainte de a începe trebuie menționat faptul că este foarte important ca atât **traseul de deplasare** al curelei de transmisie cât și **obiectul** ce se va plasa pe acesta să fie realizate în **același viewport**.

În cazul în care traseul, obiectul și obiectele **Bones** sunt construite în viewport-uri diferite, la aplicarea comenzii **Spline IK Solver** poate apărea o decalare sau rotire necontrolată a obiectului pe traseu.



*a. obiectul și obiectele **Bones** realizate în viewport-ul **Top** iar curba în **Front***



*b. obiectul realizat în viewport-ul **Top** iar curba și obiectele **Bones** în **Front***

Fig. 6.9. Aplicarea instrumentului **Spline IK Solver**

Spre exemplu în fig. 6.9, sunt prezentate două situații de acest fel; dacă traseul este realizat în viewport-ul **Front** iar obiectul **Box** și obiectele **Bones** în viewport-ul **Top** apare o decalare și o rotire a obiectului la aplicarea comenzii **Spline IK Solver**, fig. 6.9,a; dacă traseul și obiectele **Bones** s-au

realizat în viewport-ul **Front** iar obiectul **Box** în viewport-ul **Top** apare o decalare a acestuia din urmă pe curbă la aplicarea comenzii **Spline IK Solver**, fig. 6.9,b.

Revenind la crearea scenei, acest exemplu propune realizarea traseului compus din două cercuri laterale având razele de 100 și 75 și amplasate în punctele de coordonate (-200, 0 0) și (200, 0 0).

Cele două cercuri sunt convertite în curbe spline, executând pe rând clic dreapta pe acestea și selectând din meniul contextual comanda **Convert To, Convert to Editable Spline**.

La nivel de sub-obiect **Segment**, pentru ambele cercuri se vor șterge segmentele interioare, fig. 6.10.

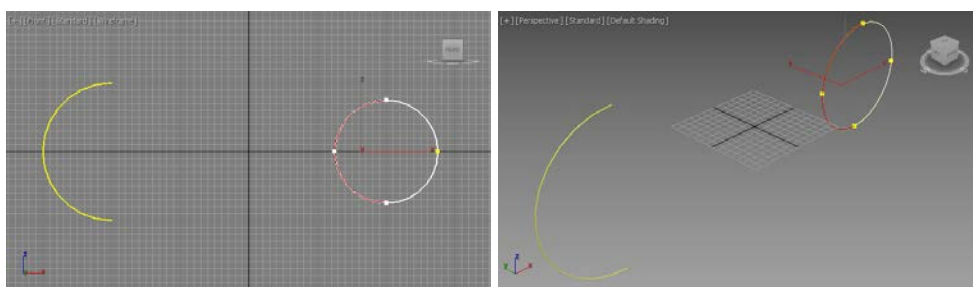


Fig. 6.10. Ștergerea segmentelor interioare ale cercurilor

Pentru a crea o singură entitate pentru traseu este necesară atașarea celor două cercuri într-o singură entitate, respectiv cu unul dintre cercuri selectat se deschide caseta derulantă **Geometry** și se alege comanda **Attach** care va permite selectarea celuilalt cerc.

La nivel de sub-obiect **Vertex** se selectează pe rând unul dintre vertex-urile libere ale unui semicerc, se alege comanda **Connect** și se selectează vertexul celuilalt semicerc cu care se dorește legarea, fig. 6.11.

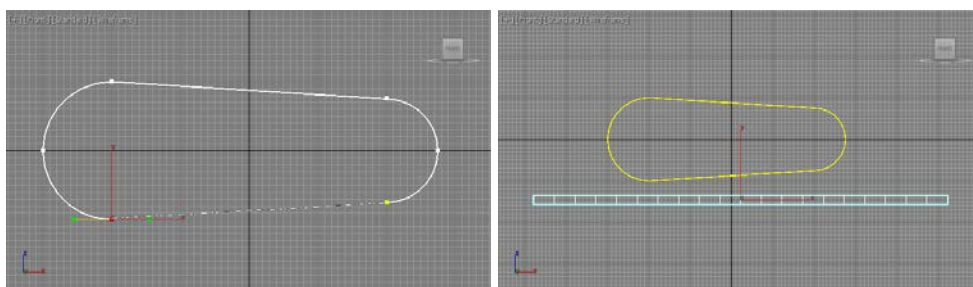


Fig. 6.11. Unirea vertex-urilor pentru finalizarea traseului și crearea obiectului

Tot în viewport-ul **Front** se va crea un obiect **Box** având parametrii **Length: 20**, **Width: 1000**, **Height: 40** și **Width Segs: 20**; acest paralelipiped este amplasat în punctul de coordonate (0, 0, -150) și va reprezenta obiectul ce se va plasa pe traiectoria realizată, fig. 6.11.

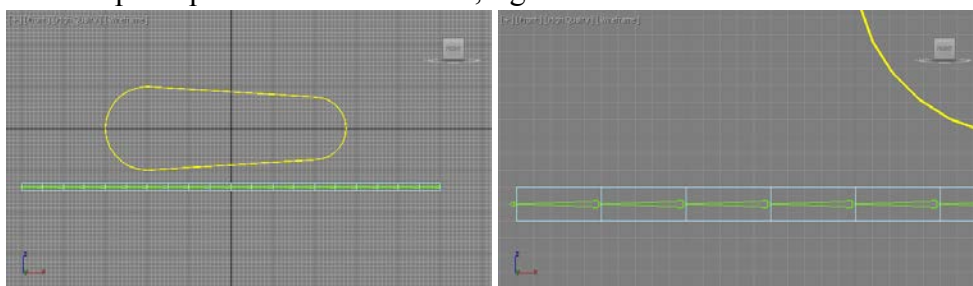


Fig. 6.12. Crearea sistemului *Bones*

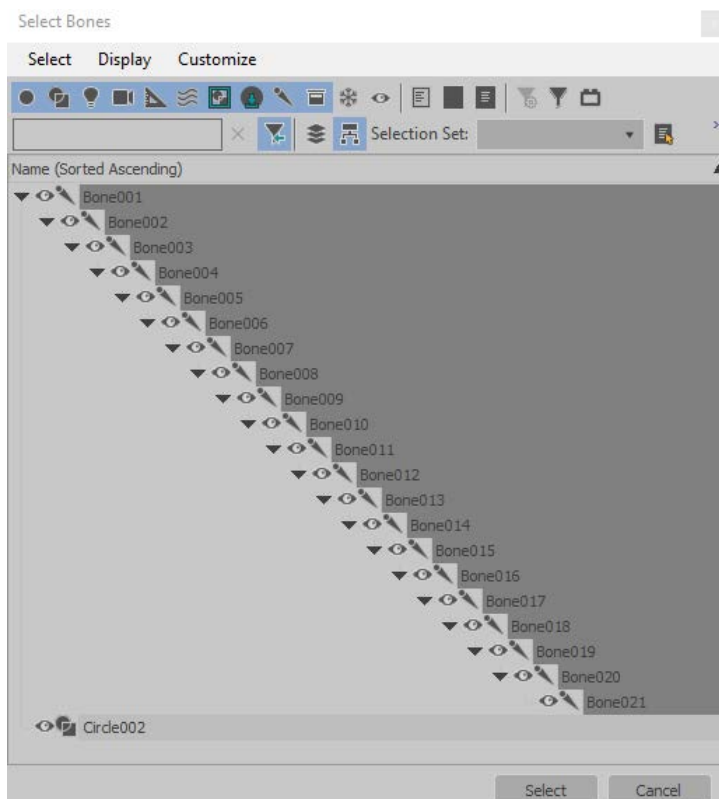


Fig. 6.13. Selectarea obiectelor *Bones* și aducerea acestora în cadrul funcției de modificare *Skin*

Așa cum s-a putut observa paralelipipedul realizat are 20 de segmente, acestea reprezentând zonele de îndoire pentru urmărirea traseului.

Pentru a permite această îndoire se va crea un schelet (sistem **Bones**) care va fi delimitat de aceste segmente. Așadar se alege panoul de comandă **Create** sub-panoul **Systems** și comanda **Bones** care va permite crearea unui sistem de 21 de elemente de schelet, fig. 6.12.

După realizarea sistemului **Bones** se selectează paralelipipedul și se aplică acestuia o funcție de modificare **Skin**, în caseta derulantă **Parameters** a funcției **Skin** se acționează butonul **Add** din dreptul parametrului **Bones**, acțiune care permite selectarea tuturor obiectelor **Bones** și aducerea acestora în caseta disponibilă a modificadorului **Skin**, fig. 6.13.

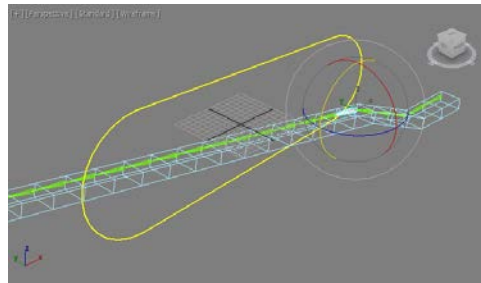


Fig. 6.14. Rotirea a două obiecte **Bones** după aplicarea funcției de modificare **Skin**

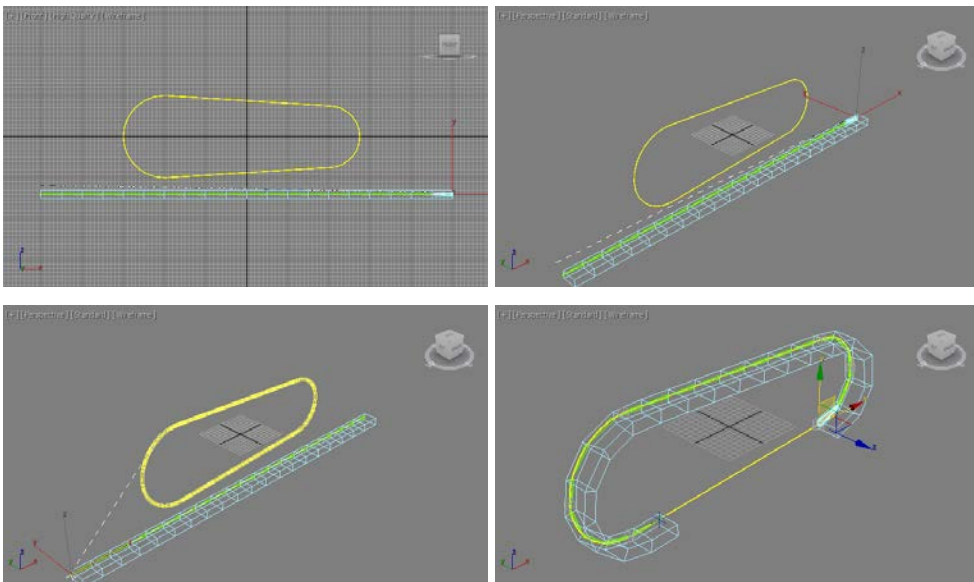


Fig. 6.15. Etapele comenzii **SplineIK Solver**

După aplicarea funcției de modificare **Skin** orice transformare asupra unui obiect **Bones** se va propaga în lanțul descendent acestuia. Spre exemplu în fig. 6.14 pentru două dintre obiectele **Bones** s-a aplicat câte o rotație.

În ultima etapă este necesară aplicarea comenzii **SplineIK Solver**; pentru aceasta se selectează obiectul **Bone001**, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și se alege comanda **SplineIK Solver**, fig. 6.15.

Lansarea comenzii **SplineIK Solver** presupune în prima etapă tragerea pe ultimul obiect de tip **Bones** iar apoi selectarea traseului spline realizat anterior, această ultimă acțiune conducând la plasarea obiectului pe traseu, fig. 6.15.

În acest moment deplasarea primului obiect **Bone** provoacă deplasarea întregului lanț, fig. 6.16.

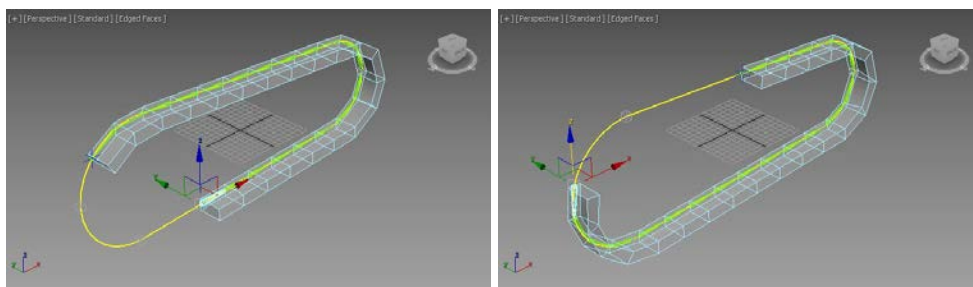


Fig. 6.16. Aplicarea unui deplasări primului obiect **Bones**

6.4. Simularea unui braț extensibil cu ajutorul instrumentului HI Solver

Acest capitol propune o explicație a montării unui braț extensibil așa cum se întâlnește într-un ceas cu cuc sau la o oglinda de frumusețe dintr-o baie [10].

Înainte de a începe scena trebuie menționat faptul că pentru o simulare corectă a brațului mecanic, este necesară realizarea cu exactitate a brațelor mecanismului, atât ca dimensiuni cât și ca poziționare; de asemenea toate punctele pivot ale componentelor trebuie poziționate cu exactitate și în modul cel mai corect pentru a nu apărea distorsiuni în funcționare brațului.

Pentru o realizare corectă a geometriei mecanismului, acest exemplu propune realizarea unei schițe de structură din obiecte 2D, care va reprezenta

referința de orientare și poziționare a brațelor.

Se propune ca brațele de capăt ale mecanismului să aibă o lungime de 50 iar restul majoritar de brațe să aibă lungimea de 100; structura 2D va fi formată pentru început din obiecte **Line** având lungimea de 100.

Primul obiect **Line** va fi poziționat în $(0, 0, 0)$ și va fi rotit cu 60 de grade după axa Z, fig. 6.17. Pentru realizarea celui de al doilea obiect **Line** se poate folosi comanda **Mirror**. În această etapă se pot realiza și cercuri care ulterior să materializeze articulațiile dintre brațe.

Multiplicarea obiectelor realizate se poate realiza cu ajutorul comenzii **Copy**; se realizează atâtea elemente în funcție de cât de lung se dorește să fie brațul mecanic. Se recomandă poziționarea corectă a cercurilor în punctele de capăt ale liniilor iar poziționarea ultimelor linii trebuie realizată astfel încât să se obțină unirea capetelor; centrul fiecărei linii, așa cum s-a urmărit în acest exemplu – tocmai pentru a evita orice eroare de poziționare – trebuie să se afle pe axa X.

Dacă structuri 2D realizate i se aplică o comandă **Mirror** (după axa X) se poate obține structura finală a mecanismului, fig. 6.17

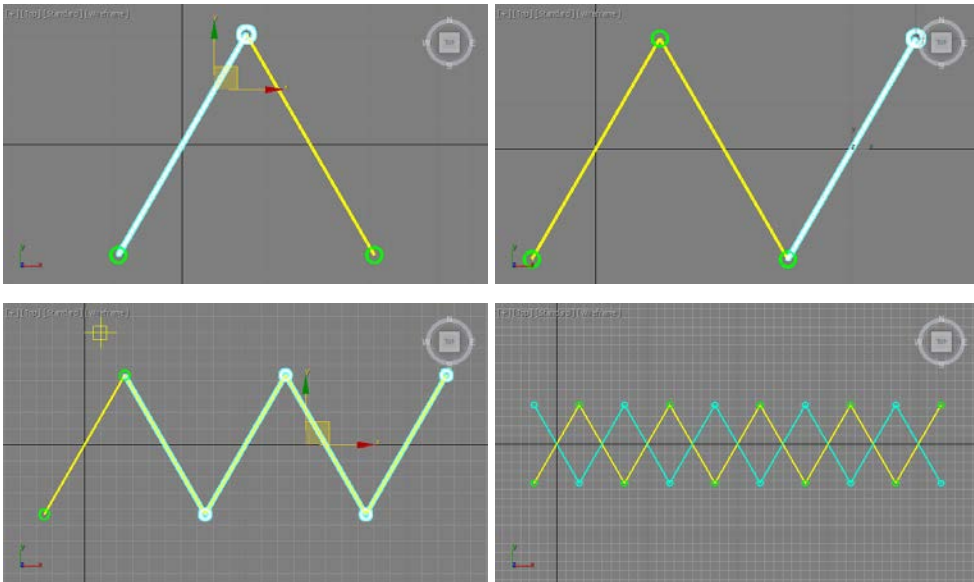


Fig. 6.17. Crearea unei structuri 2D a mecanismului – comenzile **Copy** și **Mirror**

Ajustarea structurii 2D în zona din capătul din stânga se poate realiza prin simpla deplasare a vertex-urilor liniilor de capăt în punctul de origine $(0, 0, 0)$.

Pentru zona din dreapta deplasarea corectă a vertex-urilor corespunzătoare se poate realiza folosind instrumentele **Snap (Endpoint, Midpoint, Vertex)**, fig. 6.18.

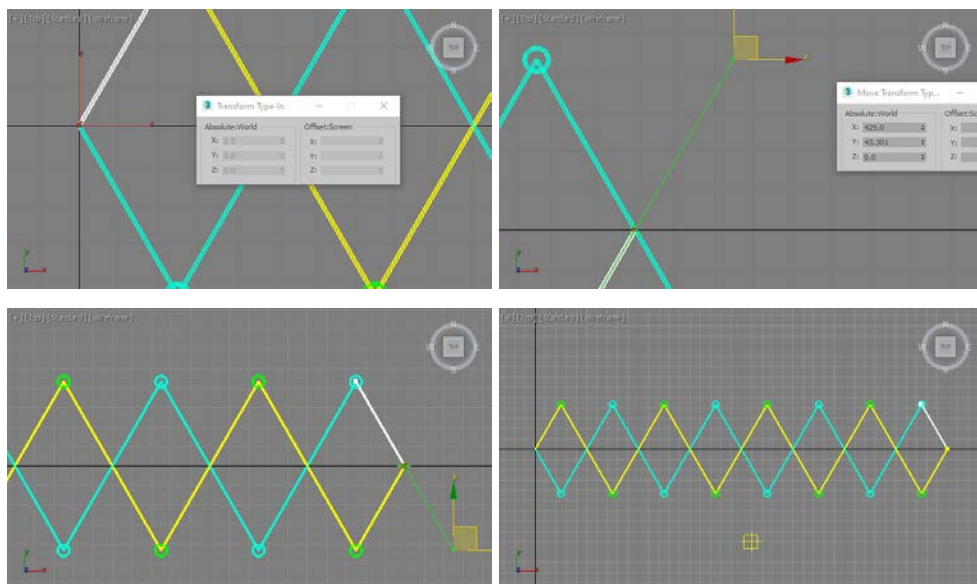


Fig. 6.18. *Ajustarea zonelor de capăt ale structurii brațului mecanic*

Pentru materializarea efectivă a brațelor mecanismului se pot folosi primitive de tip **Rectangle** și primitive **Circle** (pentru obținerea alezajelor pentru bolțuri).

Pentru primitivele **Rectangle** se vor seta următoarele valori ale parametrilor: **Length:** 12, **Width:** 112, **Corner Radius:** 6, respectiv **Length:** 12, **Width:** 62, **Corner Radius:** 6; s-a avut în vedere faptul că distanța dintre bolțuri trebuie să fie de 100 respectiv de 50. Pentru pozițiile celor două primitive s-au ales punctele de coordonate (0, 0, -60) respectiv (0, 0, 80).

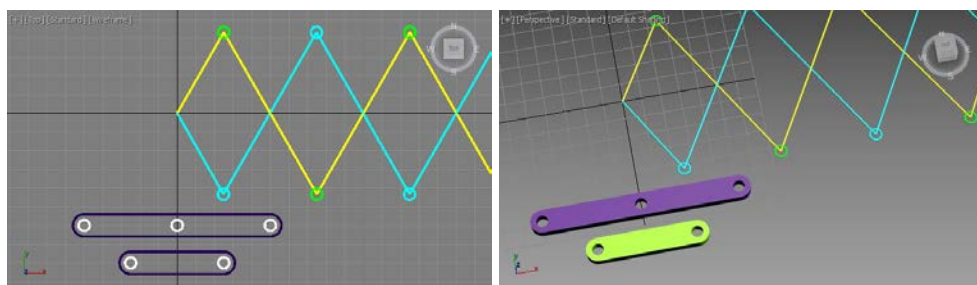


Fig. 6.19. *Realizarea brațelor structurii mecanice*

Materializarea alezajelor pentru brațul de lungime 100 se va realiza cu ajutorul a 3 cercuri de rază de 3 având pozițiile $(-50, -60, 0)$, $(0, -60, 0)$ și $(50, -60, 0)$.

Materializarea alezajelor pentru brațul de lungime 50 se va realiza cu ajutorul a 2 cercuri de rază de 3 având pozițiile $(-25, -80, 0)$ și $(25, -80, 0)$, fig. 6.19.

Pentru transformarea în obiecte 3D a celor două brațe se selectează pe rând fiecare obiect **Rectangle**, se execută clic dreapta iar din meniul contextual se alege **Convert to Editable Spline**; cu câte un dreptunghi selectat se deschide panoul de comandă **Modify** și se alege comanda **Attach**; se atașează fiecărui dreptunghi cercurile corespunzătoare iar apoi se aplică funcția de modificare **Extrude** setând parametrul **Amount** la valoarea 5, fig. 6.19.

Așa cum s-a menționat anterior, poziția punctele pivot ale brațelor are o importanță deosebită, față de acestea realizându-se mișcarea brațelor. În acest sens următoarea etapă constă din plasarea punctelor pivot ale brațelor în centrul unuia dintre alezajele de capăt ale acestora.

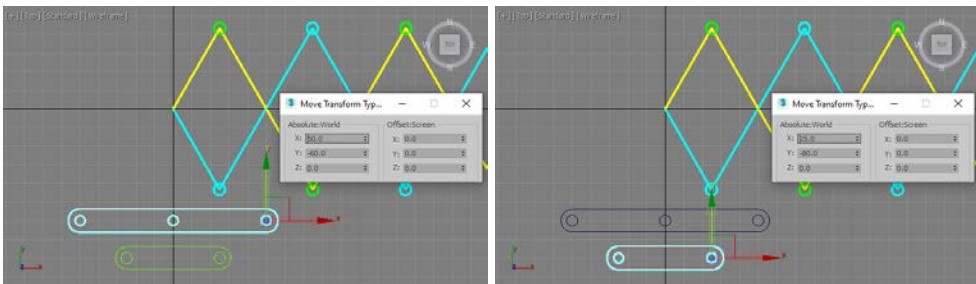


Fig. 6.20. Poziționarea punctelor pivot ale brațelor în centrul unui alezaj – comanda **Affect Pivot Only**

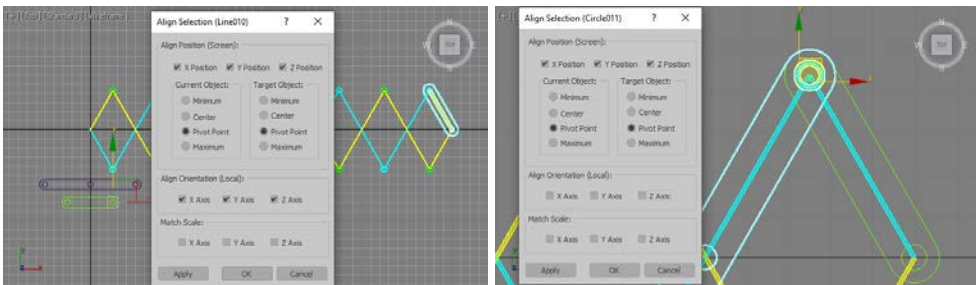


Fig. 6.21. Alinierea corectă a brațelor

Pentru aceasta, se selectează fiecare braț, se deschide panoul de

comandă **Hierarchy** și se activează butonul **Affect Pivot Only**; pentru brațul de lungime 100 poziția pivotului va fi în punctul de coordonate (50, -60, 0) iar pentru brațul de lungime 50 în punctul de coordonate (25, -80, 0), fig. 6.20.

Înainte de poziționarea și alinierea brațelor pe structura 2D realizată, se menționează faptul că se consideră capătul din stânga ale brațului mecanic ca fiind efortorul iar capătul din dreapta ca fiind zona de bază.

Așadar, se va urmări ca fiecare element să aibă poziția punctului pivot în partea dreaptă, respectiv alinierea și poziționarea brațului se va realiza relativ la poziția articulației din dreapta, fig. 6.21.

Pentru poziționarea și alinierea corectă a brațelor este posibil să fie necesare mai multe etape de aliniere, fie față de linia corespunzătoare a structurii ca orientare, fie față de cercul de intersecție (de regulă) ca poziție.

În fig. 6.21 este exemplificată alinierea primului braț mic la linia corespunzătoare a structurii 2D și aducerea celui de al doilea braț în poziția cercului (articulației) dorit.

După amplasarea tuturor brațelor structura brațului mecanic ar trebui să arate ca în fig. 6.22.

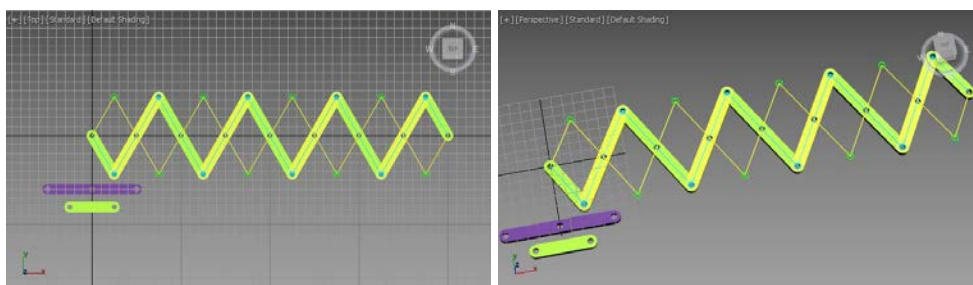


Fig. 6.21. Alinierea corectă a tuturor brațelor

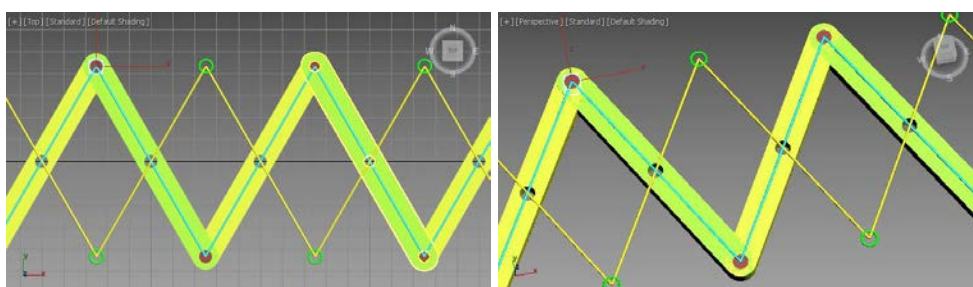


Fig. 6.22. Crearea bolțurilor – extrudare cercurilor

Pentru materializarea bolțurilor din articulații se pot folosi cercurile din structura 2D, respectiv acestora li se aplică o funcție de modificare **Extrude** cu parametrul **Amount** setat la valoarea 5, fig. 6.22.

Se menționează că a fost realizată o articulație și în capătul din stânga al brațului mecanic, respectiv în punctul de coordonate (0, 0, 0).

Următoarea etapă constă din legarea elementelor componente ale brațului mecanic. Legarea se va realiza în ordinea elementelor de la stânga la dreapta (de la efector la bază), respectiv articulație, braț, articulație, braț, etc., fig. 6.23.

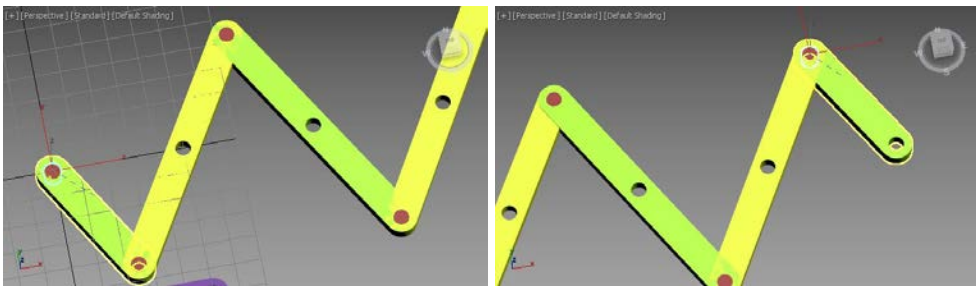


Fig. 6.23. Legarea elementelor brațului mecanic

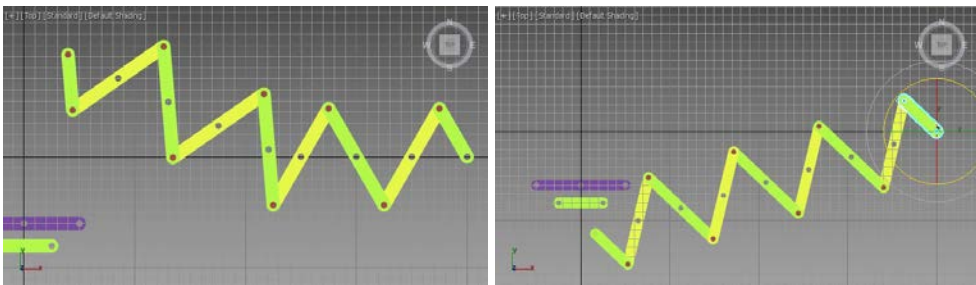


Fig. 6.24. Verificarea legăturilor dintre toate brațe

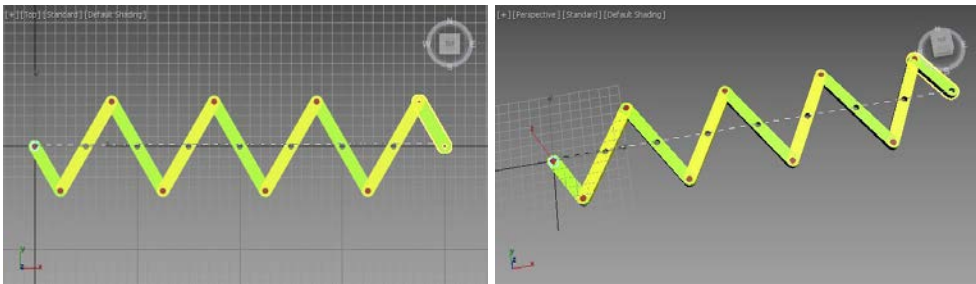


Fig. 6.25. Aplicarea instrumentului **HI Solver**

După crearea lanțului cinematic se recomandă și o verificare a corectitudinii realizării legăturilor; astfel aplicarea unei transformări unui element trebuie să conducă la transformarea lanțului descendent, respectiv aplicarea unei transformări bazei ar trebui să conducă la o transformare a întregului lanț, fig. 6.24.

Următoarea etapă constă din selectarea efectorului (articulația din stânga), deschiderea meniului **Animation**, sub-meniul **IK Solvers**, comanda **HI Solver** iar apoi tragerea mouse-ului peste ultimul braț din dreapta.

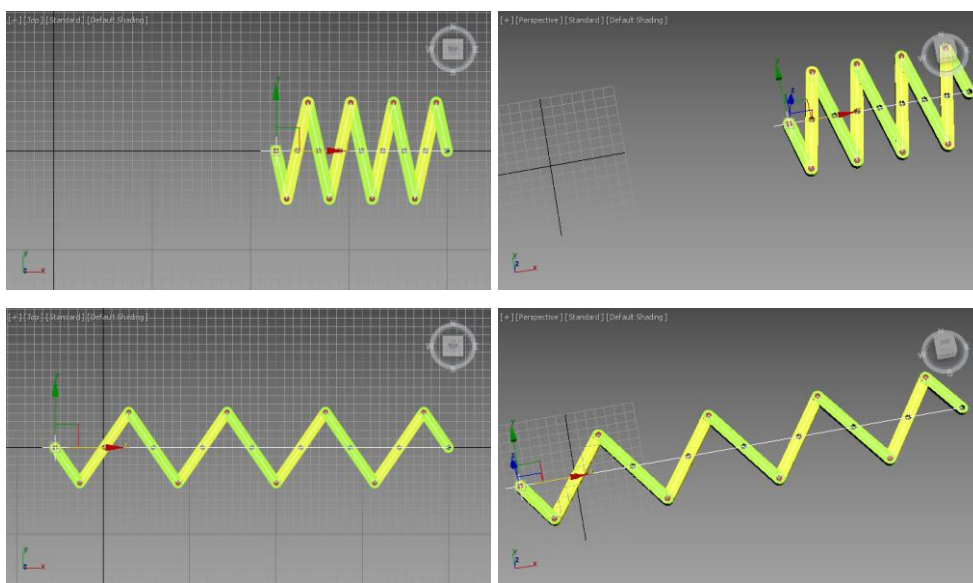


Fig. 6.26. Simularea funcționării după aplicarea instrumentului **HI Solver**

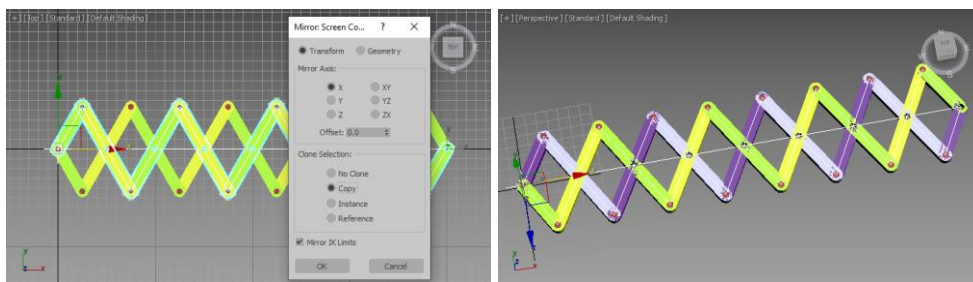


Fig. 6.27. Duplicarea lanțului cinematic cu ajutorul comenzii **Mirror**

Pentru a verifica rezultatul obținut în urma aplicării instrumentului **HI Solver** se deplasează stânga-dreapta efectorul, fig. 6.26.

Dacă deplasarea efectorului după axa X conduce la o rotire corectă a brațelor mecanismului după axa Z a alezajelor centrale, cu menținerea

acestora pe axa X , atunci obiectivul propus a fost atins.

Pentru a oglindi și dubla lanțul cinematic realizat, acesta se selectează în întregime și se aplică comanda **Mirror** după axa X (cu opțiunea **Clone Selection: Copy**), fig. 6.27.

Rezultatul obținut în urma selectării celor două lanțuri cinematice și deplasarea axială a efectorului, este prezentat în fig. 6.28.

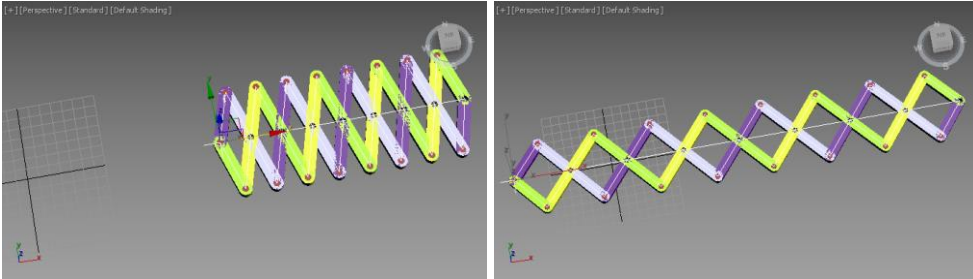


Fig. 6.28. Simularea funcționării brațului mecanic

Pentru a evita suprapunerea celor două lanțuri cinematice, unul dintre acestea se poate selecta și se poate deplasa corespunzător după axa Z , astfel încât să se obțină o decalare a poziției lanțurilor după axa Z , fig. 6.29.

Simularea funcționării noului lanțului obținut este prezentată în fig. 6.29.

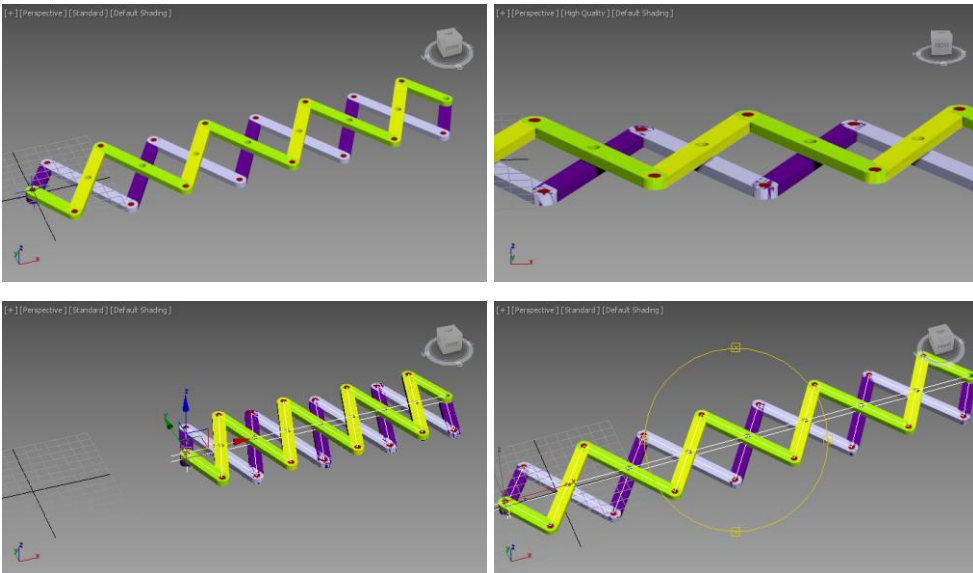


Fig. 6.29. Repoziționarea după axa Z a unuia dintre lanțurile cinematice și simularea funcționării

6.5. Simularea pașilor cu ajutorul instrumentului HI Solver

Următorul exemplu propune realizarea și simularea unei platforme biped [9]. De această dată pentru animarea fiecărui picior se vor folosi câte două lanțuri cinematice **IK**.

Deoarece obiectivul principal al acestui exemplu îl reprezintă simularea funcționării, pentru crearea modelului geometric al picioarelor se vor folosi primitive simple de tip **Box**.

Așadar cu viewport-ul **Top** activ, pentru crearea trunchiului (șoldurilor) se va folosi o primitivă de tip **Box** al cărui pivot este amplasat la baza acestuia în punctul de coordonate (0, 0, 170); pentru parametrii acestui paralelipiped s-au utilizat următoarele valori ale parametrilor: **Length**: 60, **Width**: 40 și **Height**: 15.

Pentru materializarea coapsei se va utiliza un paralelipiped pentru care punctul pivot se va seta pe suprafața superioară a acestuia, în punctul de coordonate (0, -15, 165); pentru dimensiunile acestuia se vor folosi următoarele valori: **Length**: 15, **Width**: 25 și **Height**: -70 (viewport-ul **Top**).

Pentru realizarea gambei, paralelipipedul va avea aceleași dimensiuni cu cel creat anterior dar va fi amplasat în punctul de coordonate (0, -15, 90), fig. 6.30.

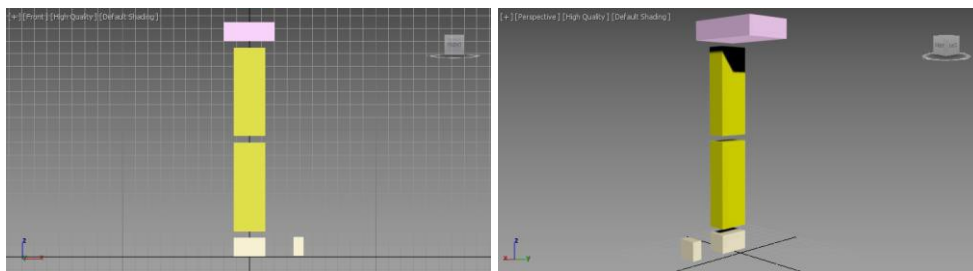


Fig. 6.30. Crearea geometriei pentru un picior

Așa cum se poate observa, acesta este piciorul din dreapta, iar pentru materializarea tălpii se vor folosi două primitive **Box**. Prima primitivă care materializează zona tălpii și a călcâiului va avea setat punctul pivot în punctul

de coordonate (0, -15, 15) iar dimensiunile: **Length**: 15, **Width**: 25 și **Height**: -15, fig. 6.30.

Pentru materializarea zonei degetelor, în viewport-ul **Left** se va crea un paralelipiped de dimensiunile: **Length**: 8, **Width**: 15 și **Height**: -8 având punctul pivot în punctul de coordonate (35, -15, 4), fig. 6.30.

În acest moment este necesar ca primitiva **Box** ce reprezintă talpa să fie transformată în suprafață editabilă cu ajutorul comenzii **Convert to Editable Poly** iar la nivel de sub-obiect **Polygon** se va selecta poligonul dinspre degete și se va extruda cu valoarea **Amount**: 20, fig. 6.31. De asemenea este necesară ajustarea zonei de legătură cu degetele, respectiv deplasarea celor două vertex-uri superioare la o coordonată Z de 8, fig. 6.31.

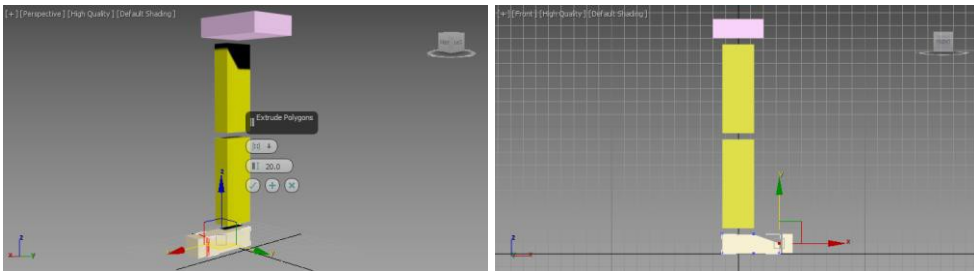


Fig. 6.31. Ajustarea zonei tălpii, comanda **Extrude** și deplasarea corespunzătoare a vertex-urilor

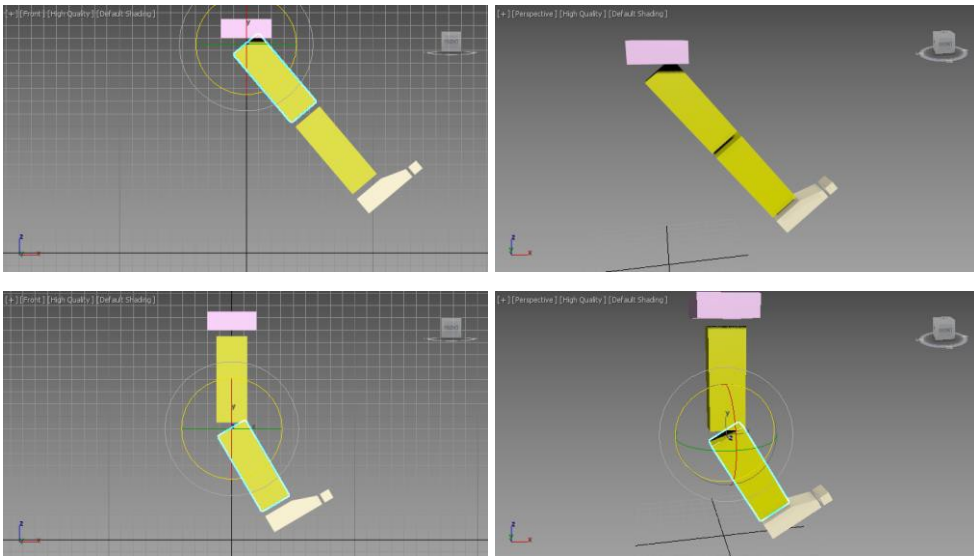


Fig. 6.32. Legarea elementelor

De remarcat faptul că s-a urmărit ca punctul pivot al tălpii să se afle în

zona de contact cu gamba iar punctul pivot al degetelor înspre zona de legătură cu talpa.

Următoarea etapă constă din legarea elementelor piciorului începând de la degete la coapsă și respectiv șold. Pentru a verifica realizarea corectă a legăturilor se pot aplica funcții de transformare diferitelor elemente componente.

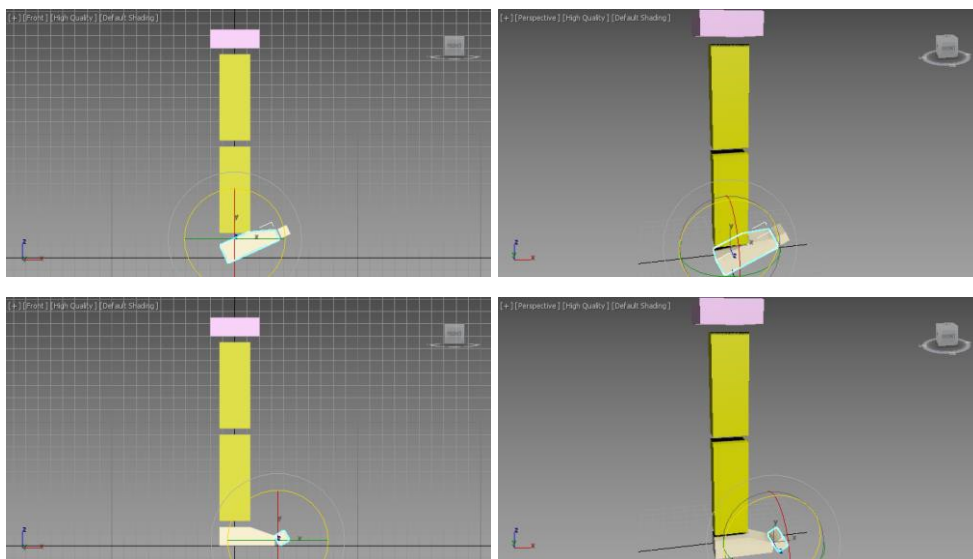


Fig. 6.33. Verificarea legăturilor din articulații

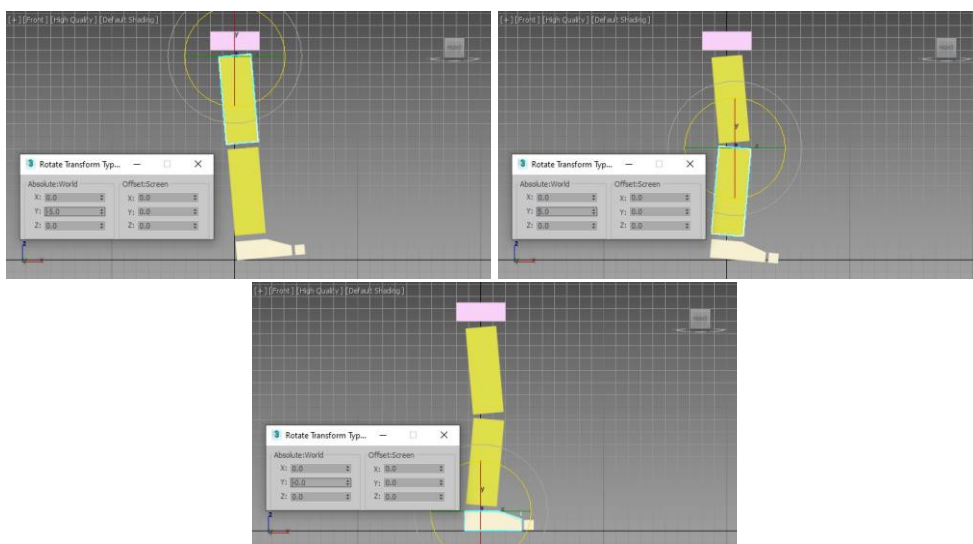


Fig. 6.34. Ajustarea poziției piciorului

Astfel în fig. 6.32 se poate observa că prin aplicarea unui funcții de rotație coapsei întregul lanț descendent reprezentat de gambă, talpă și degete se rotește cu același unghi [9].

De asemenea rotația gambei provoacă rotația tălpii și a degetelor.

În mod asemănător, fig. 6.33 prezintă verificarea funcționării corecte a legăturilor dintre gambă și talpă, respectiv talpă și degete.

Înainte de a dubla piciorul realizat se realizează o ajustare a poziției acestuia, respectiv se aplică mici rotații după axa Y pentru coapsă (-5 grade), gambă (5 grade) și talpă (revenire la 0 grade) pentru a crea o configurați asemănătoare cu a unui picior în stare de repaos, fig. 6.34.

Cu toate elementele noii configurații selectate se aplică comanda **Mirror** după axa Y și se șterge noul paralelipiped corespunzător trunchiului, fig. 6.35.

Coapsa celui de al doilea picior se leagă de trunchiul inițial. Rotirea trunchiului provoacă de această dată rotirea celor două picioare, 6.36.

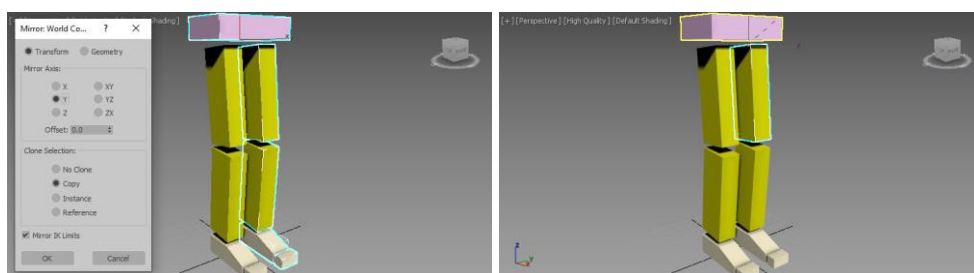


Fig. 6.35. Crearea celui de al doilea picior, comanda **Mirror** și ștergerea paralelipipedului superior

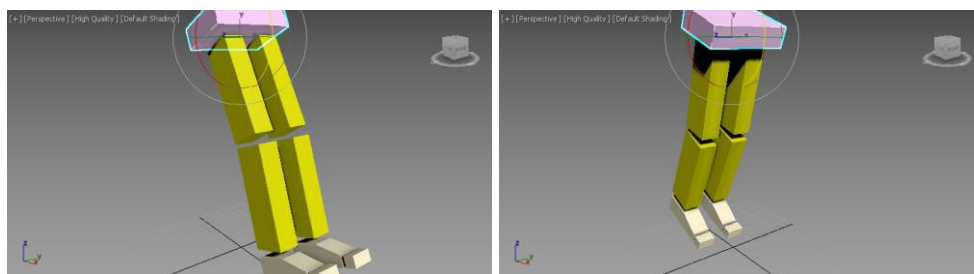


Fig. 6.36. Rotire trunchiului pentru verificarea legăturilor

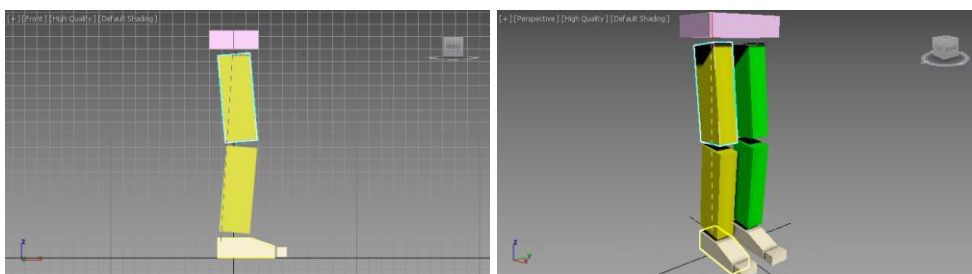


Fig. 6.37. Aplicarea comenzii *IK Solvers – HI Solver* între coapsă și talpă pentru piciorul din dreapta

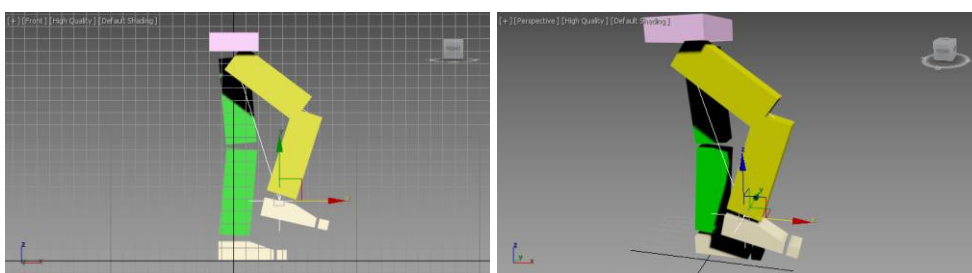


Fig. 6.38. Verificarea lanțurilor *IK* picior din dreapta



Fig. 6.39. Aplicarea comenzii *IK Solvers – HI Solver* între coapsă și talpă pentru piciorul din stânga

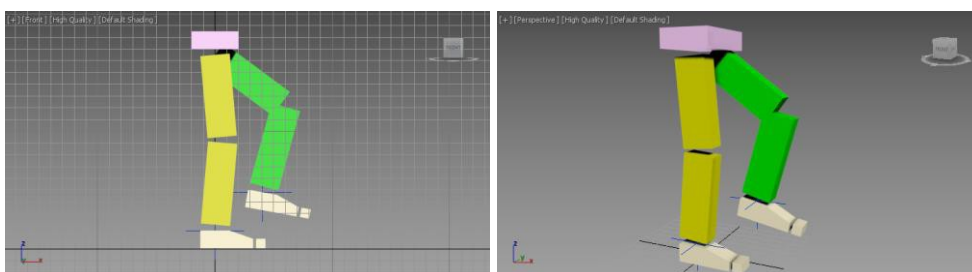


Fig. 6.40. Verificarea lanțurilor *IK* picior din stânga

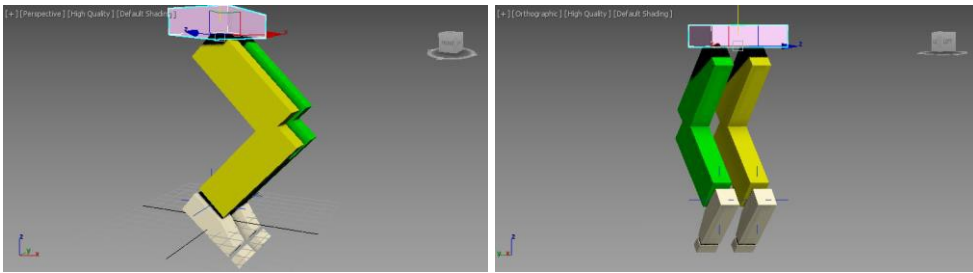


Fig. 6.41. Verificarea lanțurilor **IK** între cele două picioare prin deplasarea trunchiului

Primele lanțuri cinematice **IK** se vor crea pe rând între fiecare coapsă și talpă corespunzătoare.

Așadar, se selectează o coapsă, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK-Solvers**, se alege comanda **HI Solver** și se trage mouse-ul peste talpa corespunzătoare, fig. 6.37 și fig. 6.39.

Se verifică funcționarea lanțurilor **IK** prin deplasarea acestora elementului efector al acestora, fig. 6.38 și fig. 6.40.

De asemenea funcționarea celor două lanțuri se poate verifica și prin deplasarea șoldului, fig. 6.41, ceea ce va provoca un efect de îndoire a ambelor picioare.

Pentru a crea lanțurile cinematice **IK** dintre fiecare tălpi și degetele corespunzătoare, se selectează pe rând câte o talpă, se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK-Solvers**, se alege comanda **HI Solver** și se trage mouse-ul peste degetele corespunzătoare, fig. 6.42.

Verificarea lanțurilor **IK** dintre tălpi și degete se realizează prin deplasarea elementelor efector ale lanțurilor **IK** create, fig. 6.43.

Pentru a crea animația mersului picioarelor se vor crea două primitive **Rectangle**, acestea fiind de fapt cele care vor primi cheile de animație; aceste primitive se vor lega de tălpile picioarelor.

Așadar în viewport-ul **Top**, în jurul tălpii drepte se va crea prima primitivă de tip **Rectangle** având setați parametrii **Length** la 20 și **Width** la 60 iar punctul pivot setat în punctul de coordonate (15, -15, 0), fig. 6.44.

Pentru a lega lanțurile cinematice ale piciorului de această primitivă se selectează cele două lanțuri – lanțul dintre coapsă și talpă respectiv lanțul dintre talpă și degete – și cu ajutorul butonului **Select and Link** se leagă de primitiva **Rectangle**; de această dată deplasarea primitivei **Rectangle** provoacă modificarea configurației piciorului, fig. 6.44.

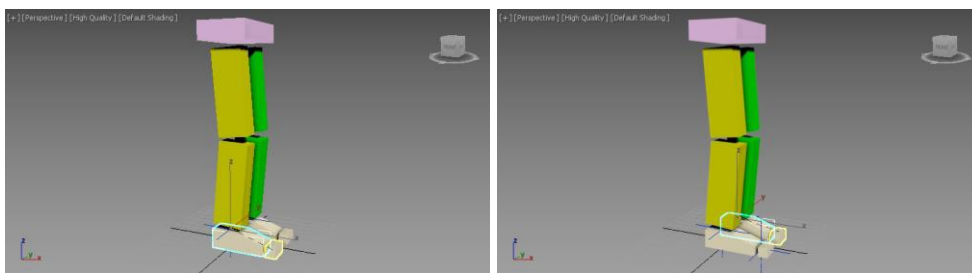


Fig. 6.42. Aplicarea comenzii *IK Solvers – HI Solver* între tălpi și zonele degetelor

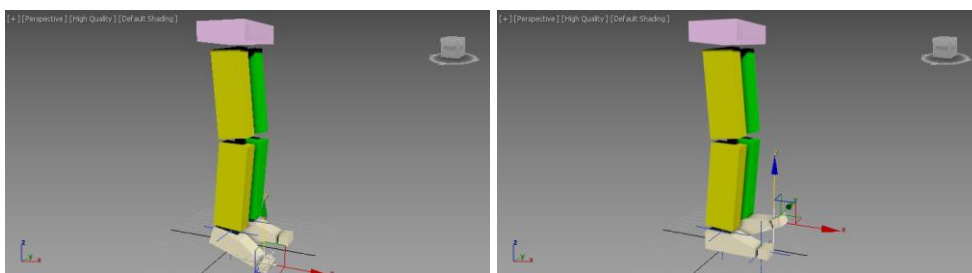


Fig. 6.43. Verificarea lanțurilor *IK* între cele două tălpi și zonele corespunzătoare ale degetelor

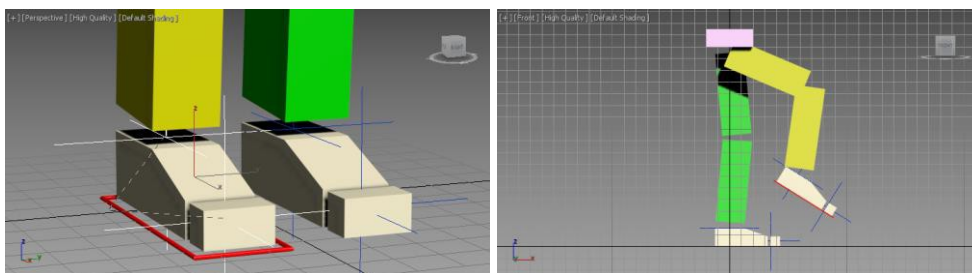


Fig. 6.44. Legarea celor doi controleri *IK* de primitiva *Rectangle* - deplasarea și rotirea primitivei *Rectangle*

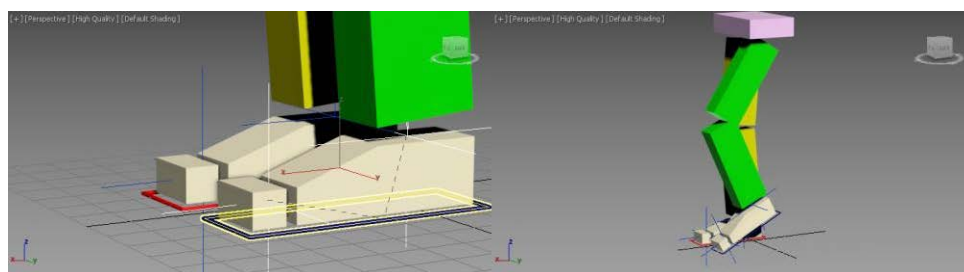


Fig. 6.45. Legarea lanțurilor *IK* ale piciorului stâng de câte primitiva *Rectangle* și deplasarea acesteia din urmă

În mod asemănător se creează o primitivă **Rectangle** în jurul tălpii piciorului stâng (fie prin copierea primei primitive fie prin aplicarea comenzii **Mirror** acesteia, punctul pivot fiind setat în punctul de coordonate $(-15, 15, 0)$), se selectează cele două lanțuri cinematice ale acestui picior și se realizează legarea cu noua primitivă **Rectangle**; se verifică funcționarea corectă a legăturilor prin deplasarea primitivei **Rectangle** de sub piciorul stâng, fig. 6.45.

Pentru a seta cheile de animație se va considera că un pas complet se realizează pe parcursul a 30 de cadre, respectiv cadrul 0 și cadrul 30 au aceeași configurație. Dacă se consideră că se începe de la o configurație în care ambele picioare sunt pe sol, iar piciorul stâng se află spatele celui drept, la cadrul 15 configurația picioarelor va fi asemănătoare dar cu piciorul drept în spatele celui stâng, fig. 6.46 și fig. 6.47.

Înainte de a activa butonul **Auto Key** pentru setarea cheilor de animație se recomandă modificarea poziției șoldului care este prea sus, respectiv se setează poziția paralelipipedului trunchiului în punctul de coordonate $(0, 0, 150)$.

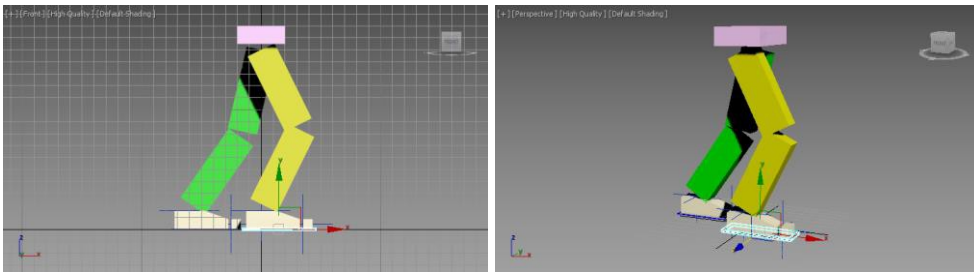


Fig. 6.46. Setarea cheilor de la cadrul 0 și 30

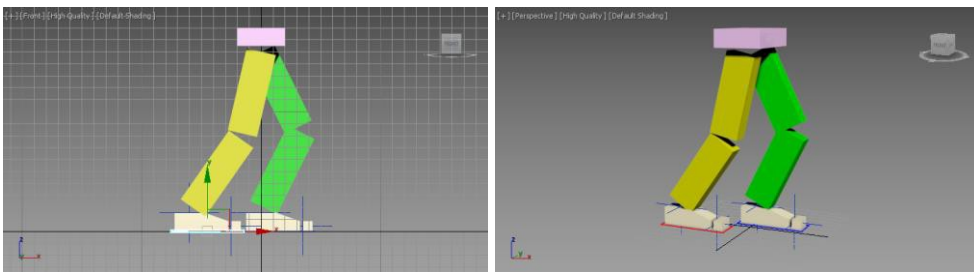


Fig. 6.47. Setarea cheii de la cadrul 15

Așadar la cadrul 0, pentru primitiva **Rectangle** din dreptul tălpii stângi s-a setat poziția în punctul de coordonate $(-45, 15, 0)$; la cadrul 30 poziția

picioarelor fiind identică cu cea de la cadrul 0 și poziția primitivelor **Rectangle** este identică cu cea de la cadrul 0, fig. 6.46.

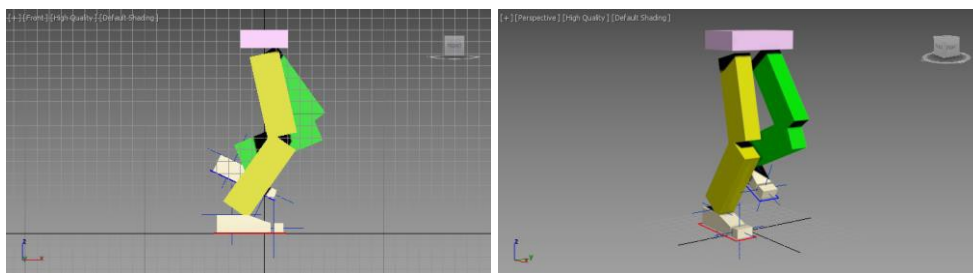


Fig. 6.48. Setarea cheii de la cadrul 7

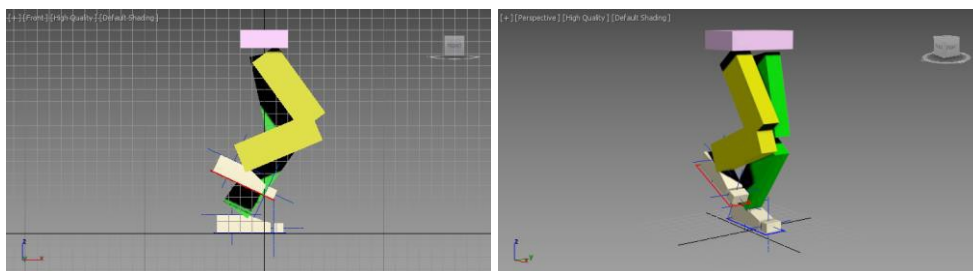


Fig. 6.49. Setarea cheii de la cadrul 22

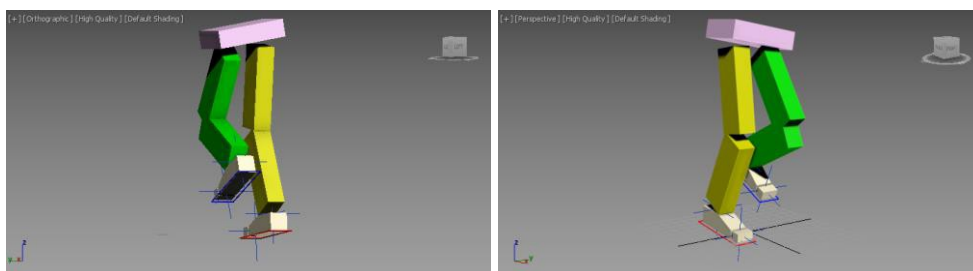


Fig. 6.50. Setarea cheii de la cadrul 7 pentru înclinarea și ridicarea ($z=155$) trunchiului

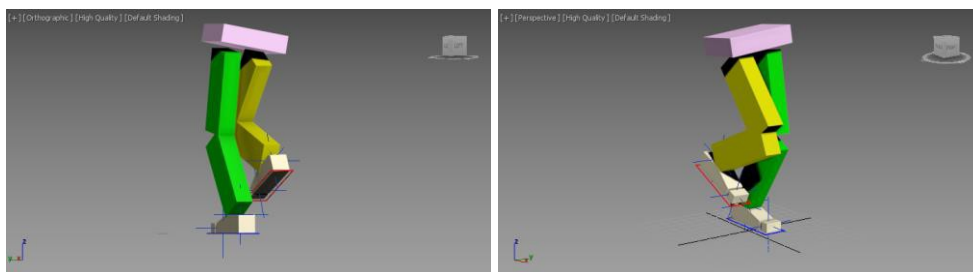


Fig. 6.51. Setarea cheii de la cadrul 22 pentru înclinarea trunchiului

La cadrul 15, pentru primitiva **Rectangle** corespunzătoare tălpii piciorului din dreapta se va seta poziția în punctul de coordonate (-45, -15, 0) iar pentru cea corespunzătoare tălpii piciorului din stânga poziția se setează în punctul de coordonate (15, 15, 0), fig. 6.47.

Deoarece pășirea celor două picioare necesită ridicarea piciorului de pe sol, se vor seta încă două chei de animație, respectiv una la cadrul 7 când piciorul stâng se afla în aer și o cheie pentru cadrul 22 când piciorul drept se află în aer.

De asemenea atunci când unul dintre picioare este în aer, trebuie să se țină cont și de faptul că trunchiul înregistrează o ridicare.

Așadar, se va seta o nouă cheie de animație la cadrul 7 pentru primitiva **Rectangle** a piciorului stâng; astfel poziția după axa Z va avea valoarea 40 iar pentru rotația după axa Y se alege valoarea 25, fig. 6.48.

Pentru șoldul materializat de primitiva **Box** superioară va seta poziția după axa Z la valoarea 155. De asemenea pentru o simulare cât mai apropiată de realitate se poate seta pentru șold și o rotație după axa X cu 10 grade, fig. 6.50.

În mod asemănător cadrului 7, la cadrul 22 se vor seta chei de animație pentru primitiva **Rectangle** corespunzătoare piciorului drept; astfel poziția după axa Z a primitivei **Rectangle** se va seta la valoarea de 40 iar rotația după axa Y a acestuia la valoarea de 25, fig. 6.49.

La cadrul 22 poziția șoldului se va seta după axa Z la valoarea 155 dar rotația după axa X se va realiza cu -10 grade, fig. 6.51.

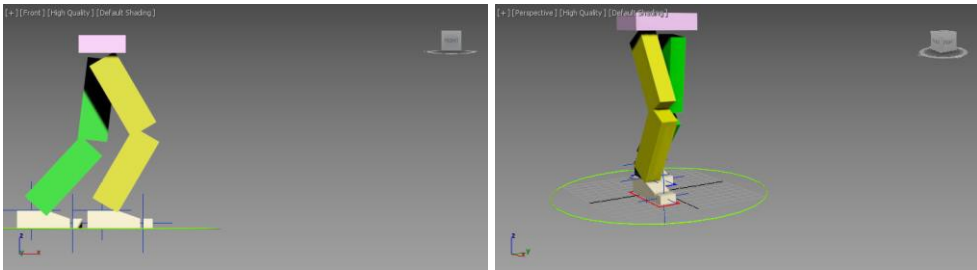
Dacă se presupune că se dorește simularea a patru pași compleți, în acest moment ar putea fi oportună modificarea numărului total de cadre; astfel se va deschide caseta de dialog **Time Configuration**, iar pentru parametrul **End Time** se va seta valoarea 120.

Deoarece în acest moment există chei de animație doar pentru primele 30 de cadre, acestea se pot copia de patru ori astfel încât să avem simularea a patru pași compleți (în bara cadrelor de animație se selectează toate cheile și cu tasta **SHIFT** menținută apăsat se trage spre dreapta noile chei dublate).

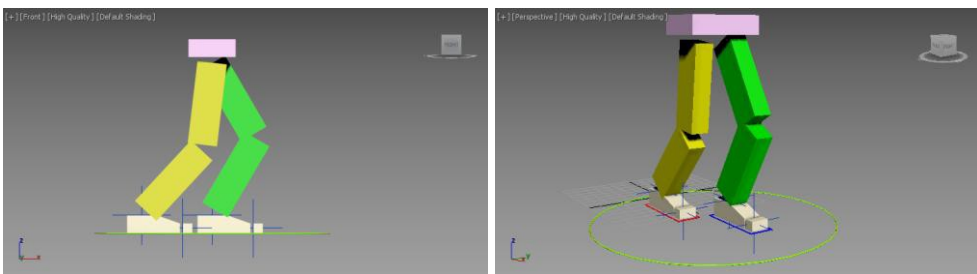
Simularea la acest moment constă doar din deplasarea pe loc. Pentru a crea o deplasare după axa X se va crea o primitivă ajutătoare, respectiv un cerc, pentru care se vor atribui chei de animație pentru deplasarea după axa X. De acest cerc se va lega în final de șoldul și primitivele **Rectangle**.

Așadar se creează un cerc în punctul de coordonate (0, 0, 0) pentru care valoarea razei nu este foarte importantă, se activează butonul **Auto Key**, iar

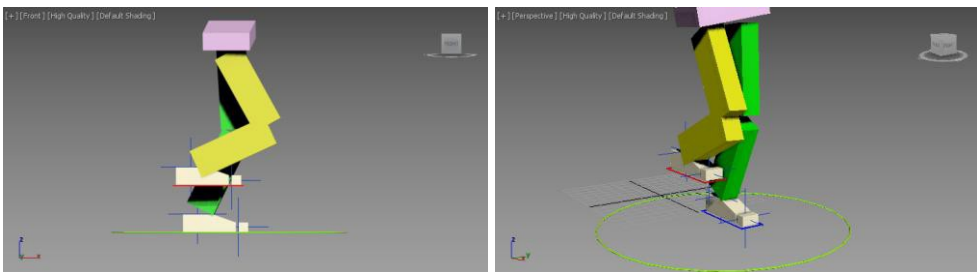
la cadrul 120 se va seta poziția punctului pivot la valoarea (250, 0, 0).



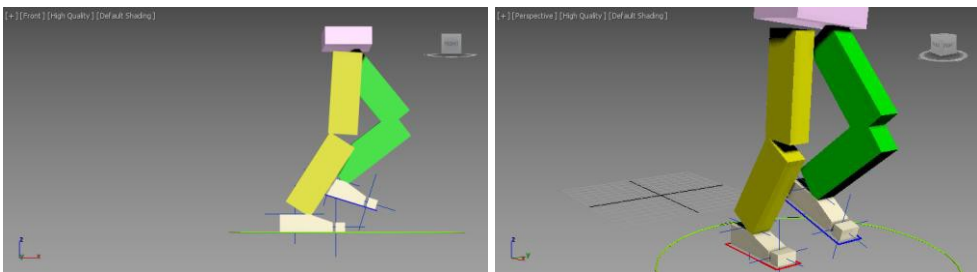
Cadrul 0



Cadrul 45



Cadrul 52



Cadrul 100

Fig. 6.52. *Simularea pașilor*

Pentru a simula mersul normal, se selectează șoldul și cele două primitive **Rectangle** și cu ajutorul butonului **Select and Link**, acestea se leagă de cercul creat.

Deplasarea cercului va conduce la deplasarea întregului corp, câteva din cadrele simulării fiind prezentate în fig. 6.52.

6.6. Simularea manivelei unui piston folosind instrumentul Link Constraint

Pentru următoarea aplicație se propune animarea manivelei unui piston. Mecanismul propus realizează transformarea mișcării de rotație continuă în mișcare de translație alternativă (compresoare, pompe, prese) [11, 12].

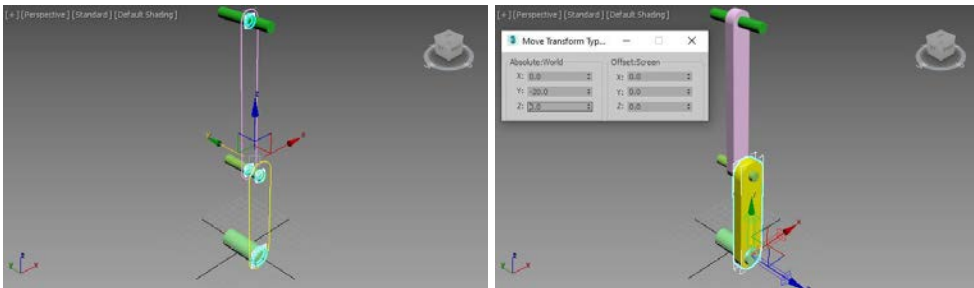


Fig. 6.53. Crearea modelului geometric al mecanismului

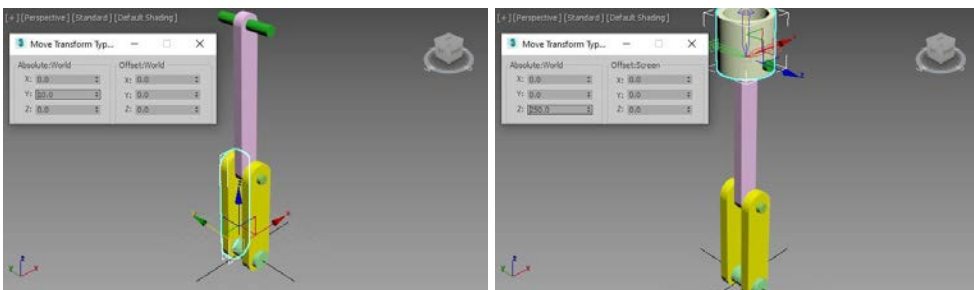


Fig. 6.54. Finalizarea modelului geometric

Așadar mecanismul este compus dintr-o manivelă care execută mișcarea continuă de rotație, bielă și pistonul cu mișcarea de translație alternativă.

Prima etapă constă din crearea modelului geometric al mecanismului pistonului. Pentru aceasta se va selecta viewport-ul **Front** ca viewport activ

și pentru început se vor crea cele trei articulații ale mecanismului materializate de trei cilindrii având parametrii geometrici și de poziție setați la valorile: **Radius**: 10, **Height**: -50, punctul de coordonate (0, -25, 0) pentru primul cilindru, **Radius**: 5, **Height**: -50, punctul de coordonate (0, -25, 100) pentru cel de al doilea cilindru și **Radius**: 5, **Height**: -60, punctul de coordonate (0, -30, 250) pentru cel de al treilea cilindru, fig. 6.53.

Pentru a crea o manivelă (cea de a doua se obține prin copierea primei) și biela se vor folosi curbe spline care se vor extruda; în acest sens se creează două primitive **Rectangle** având setați următorii parametrii: pentru manivelă **Length**: 130, **Height**: 30, **Corner Radius**: 15 iar punctul de coordonate (0, -20, 50) iar pentru bielă **Length**: 170, **Height**: 20, **Corner Radius**: 10 iar punctul de coordonate (0, -5, 175).

De asemenea pentru materializarea alezajelor se creează 4 primitive **Circle** aliniate corect față de primitivele **Rectangle**; aceste cercuri au aceeași rază ca cea a articulațiilor; pentru manivelă un cerc va avea raza de 10 și va fi plasat în punctul de coordonate (0, -20, 0) iar cel de al doilea va avea raza de 5 iar punctul pivot setat în punctul de coordonate (0, -20, 100).

Pentru bielă cele două cercuri au raza de 5 iar punctele de coordonate setate în (0, -5, 100) și respectiv (0, -5, 250), fig. 6.53.

Pentru a obține manivela și biela, primitivele **Rectangle** și **Circle** corespunzătoare fiecăreia sunt transformate în curbe spline cu ajutorul comenzii **Convert to Editable Spline** iar apoi atașate corespunzător (panoul de comandă **Modify**, comanda **Attach**). Celor două curbe obținute le sunt aplicate câte o funcție de modificare **Extrude**, cu valoarea **Amount** setată la valoarea -10, fig. 6.53.

În acest moment este necesară deplasarea punctelor pivot ale manivelei și bielei astfel încât acestea să fie aliniate la centrele articulațiilor, respectiv pentru manivelă punctul pivot se va deplasa în punctul de coordonate (0, -20, 0) iar pentru bielă în (0, 0, 100) (panoul de comandă **Hierarchy**, butonul **Affect Pivot Only**).

Având în vedere faptul că poziția punctelor pivot foarte importantă, în această etapă se recomandă și alinierea punctelor pivot ale articulațiilor pe axa Z, respectiv aducerea acestora la mijlocul înălțimii cilindrilor.

Pentru a obține o manivelă dublă, se selectează manivela creată și lansează comanda **Mirror** având activă axa Y și o distanță **Offset** de 40, fig. 6.54.

Pentru realizarea pistonului se va utiliza o primitivă **Tube** având parametrii **Radius 1: 25**, **Radius 2: 20** și **Height: 50** iar punctul pivot în punctul de coordonate (0, 0, 240). Deoarece este necesar ca articulația superioară să treacă prin interiorul pistonului, iar punctul pivot al acestuia să fie la același nivel cu cel al articulației, cu ajutorul panoului **Hierarchy** și a butonului **Affect Pivot Only**, acesta se deplasează în punctul de coordonate (0, 0, 240), fig. 6.54.

Un aspect care trebuie menționat se referă la faptul că având în vedere situația concretă, elementele mecanismului pot fi materializate de diferite primitive, acest exemplu focusându-se în special pe aspectele caracteristice simulării funcționării și mai puțin pe aspectele de modelare geometrică.

Pentru a finaliza manivela dublă, se selectează cele două părți ale acesteia împreună cu cele două articulații și se grupează cu ajutorul comenzii **Group**; în acest fel se creează grupul manivelei al cărei nou punct pivot trebuie deplasat în punctul de coordonate (0, 0, 0), fig. 6.55.

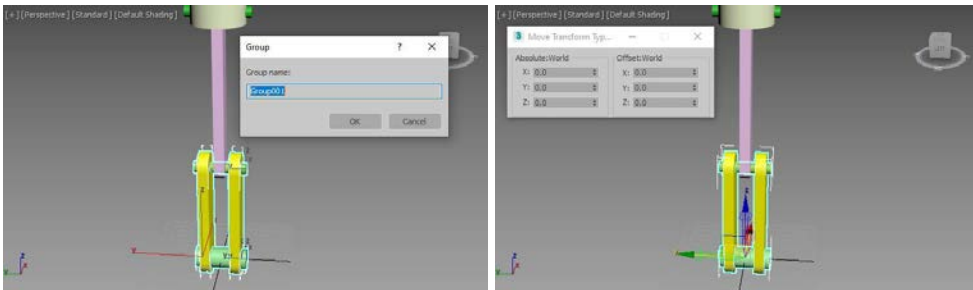
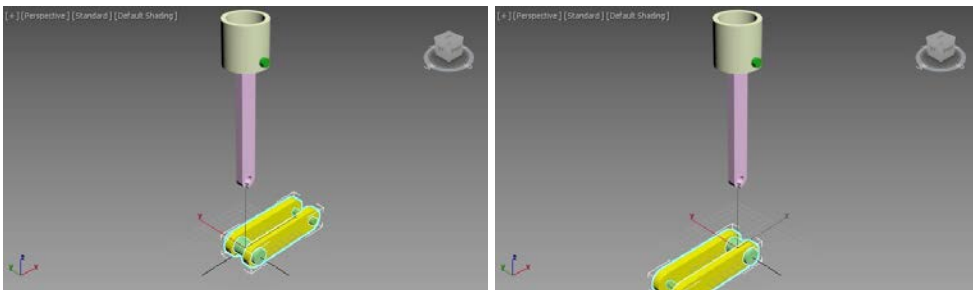


Fig. 6.55. Crearea grupului pentru manivelă și deplasarea pivotului acestuia



cadrul 25

cadrul 75

Fig. 6.56. Setarea a două chei de animație pentru animația unei rotații complete după axa Y a grupului manivelei

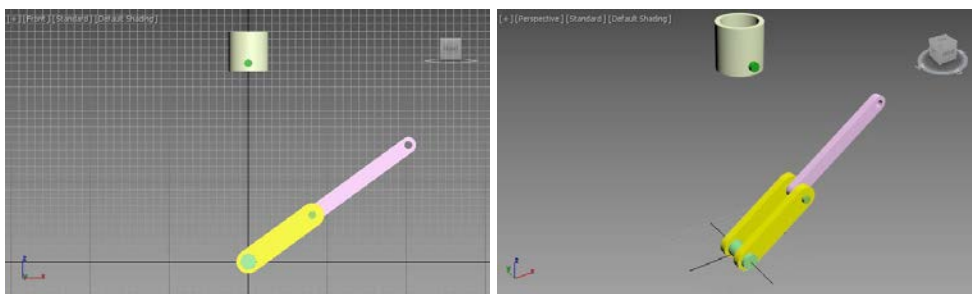


Fig. 6.57. Legarea bieii de manivelă

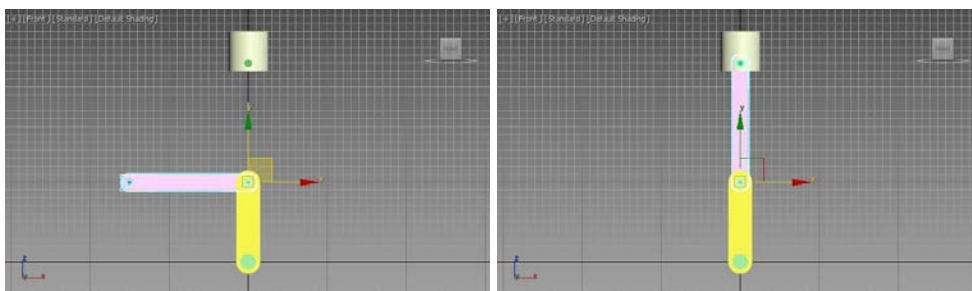
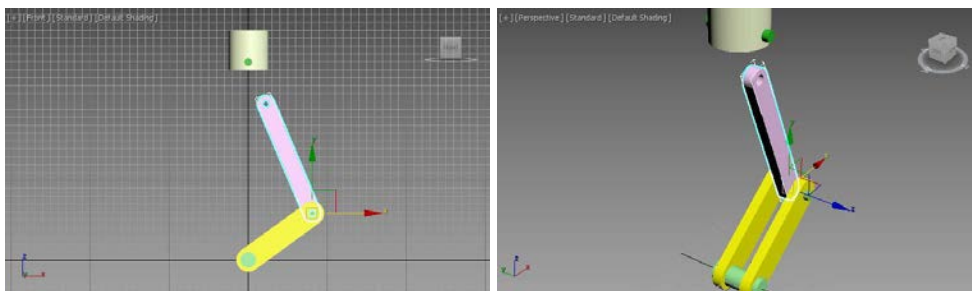
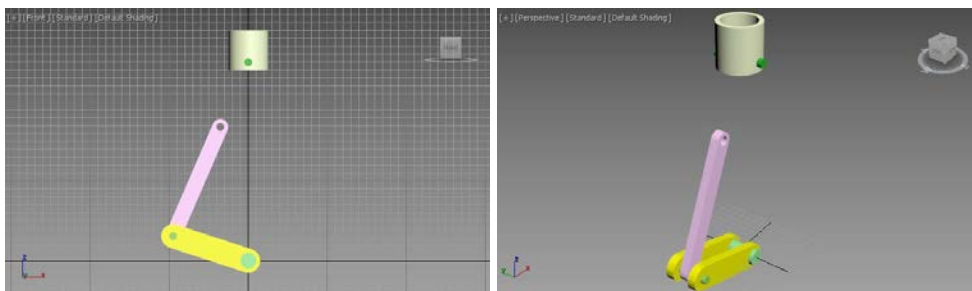


Fig. 6.58. Aplicarea controlerului *LookAt Constraint* și setarea parametrului *Select LookAt Axis* (axa Y)



cadrul 15



cadrul 80

Fig. 6.59. Animația obținută

În următoarea etapă se pot seta chei de animație pentru realizarea unei rotații complete manivelei (se poate folosi butonul **Auto Key** sau fereastra **Track View** pentru setarea a două chei la cadrul 0 cu valoarea de 0 iar la cadrul 100 cu valoarea 360 pentru rotația după axa Y).

În fig. 6.56 sunt prezentate două cadre de animație, cadrul 25 și cadrul 75, în care se poate observa rotația corectă a manivelei.

Pentru a obține și rotația bielei, cu aceasta selectată și cu activând butonul **Select and Link** se trage mouse-ul peste manivelă. De această dată, derularea animației va conduce și la rotația bielei dar exact în același mod și cu același unghi ca manivela, fig. 6.57.

Pentru a corecta orientarea bielei, acesteia i se atribuie un controler de rotație de tip **LookAt Constraint**; pentru aceasta se pot folosi diferite metode, respectiv cu ajutorul butonului **Assign** al panoului de comandă **Motion** sau cu ajutorul ferestrei **Track View**, sau cu biela selectată se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **Constraints**, comanda **LookAt Constraint**; după aplicarea acestei comenzi este necesar să se tragă mouse-ul peste piston, care reprezintă ținta spre care trebuie să privească biela, fig. 6.58.

În cazul în care nu se obține o orientare corectă a bielei, probabil este necesară setarea corectă a axei de orientare spre țintă, respectiv pentru acest caz este necesară setarea parametrului **Select LookAt Axis** la valoarea Y, fig. 6.58.

De această dată, la derularea animației se poate observa că biela va menține mereu orientarea spre piston dar nu păstrează poziția zonei articulației superioare doar pe axa Z, fig. 6.59.

Pentru a corecta această situație, se va crea un obiect fictiv care va fi centrat cu articulația pivotului, respectiv cu pivotul pistonului în punctul de coordonate (0, 0, 250), fig. 6.60 (obiectul fictiv este materializat de o primitivă **Dummy** care se creează cu ajutorul panoului **Helpers**).

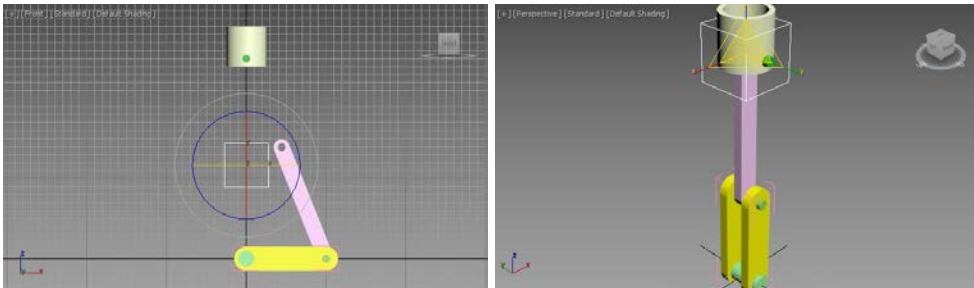


Fig. 6.60. Crearea unui obiect fictiv **Dummy** și alinierea acestuia la piston

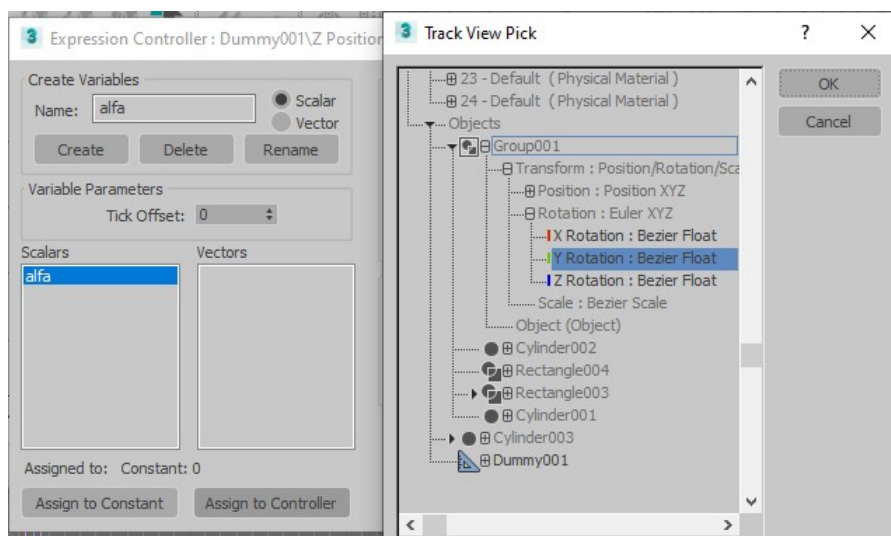


Fig. 6.61. Atribuirea variabilei *alfa* controlerului **Y Rotation** al grupului manivelei

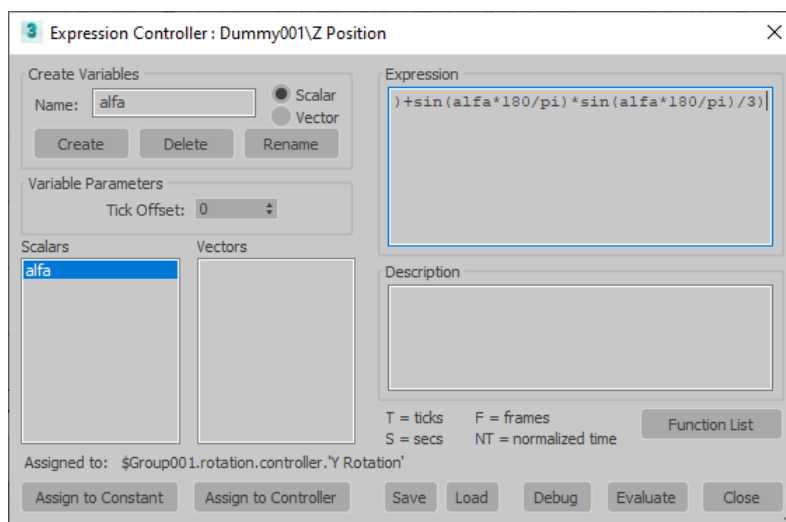


Fig. 6.62. Scrierea corectă a expresiei de deplasare a pistonului în funcție de rotația manivelei

Primitivei **Dummy** i se va atribui o mișcare după axa Z identică cu cea pe care trebuie să o aibă pistonul. Pentru a atribui o mișcare corectă dependentă de unghiul de rotație al manivelei, controlerului de poziție **Z Position** (ramurii **Z Position** a controlerului **Position XYZ**) i se va atribui un controler de tip **Float Expression**. Cu ajutorul controlerului de tip **Float Expression** se poate scrie expresia deplasării după axa Z obiectului **Dummy** în funcție de unghiul de rotație al manivelei. Pentru aceasta rotația manivelei

se notează cu α , iar această variabilă este atribuită mișcării de rotație a manivelei, fig. 6.61.

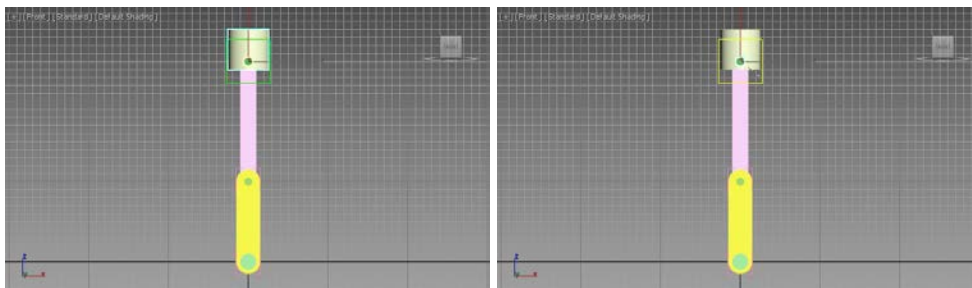
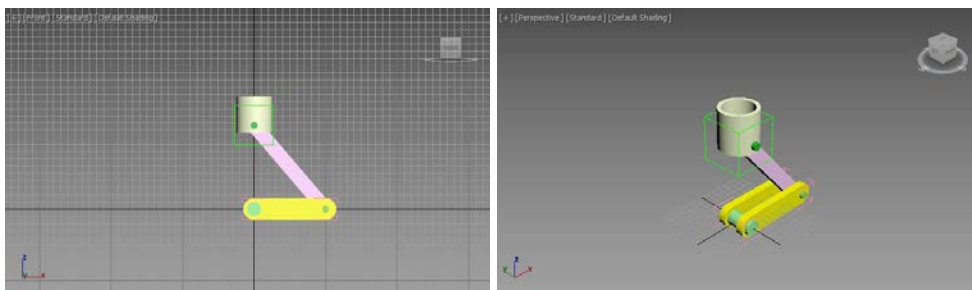
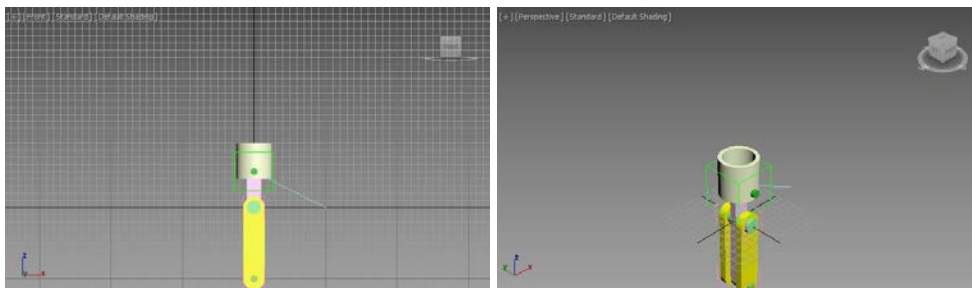


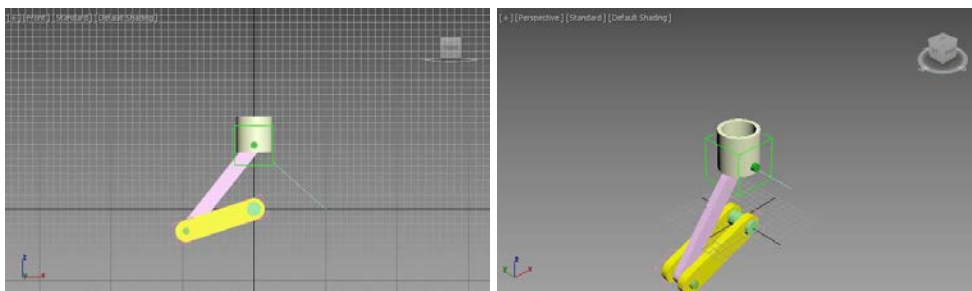
Fig. 6.63. Legarea obiectului *Dummy* de piston iar apoi de articulație



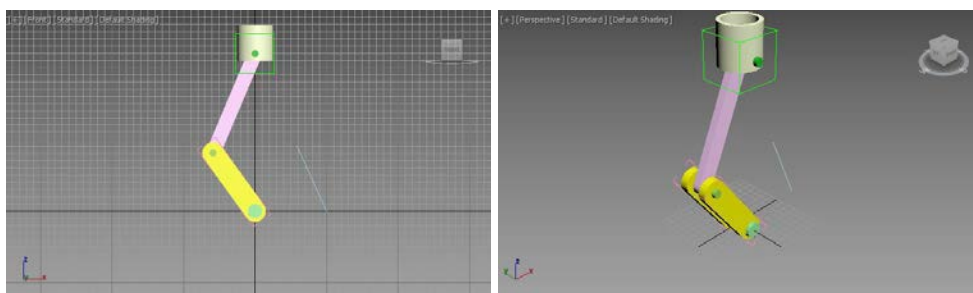
cadrul 25



cadrul 50



cadrul 70



cadru 90

Fig. 6.64. Cadre ale animației mecanismului manivelă piston

În cadrul ferestrei **Expression Controller** a deplasării după axa Z a obiectului **Dummy** se introduce expresia, fig. 6.62:

$$250-100*(1-\cos(\text{alfa}*180/\pi))+\sin(\text{alfa}*180/\pi)*\sin(\text{alfa}*180/\pi)/3)$$

În ultima etapă, cu ajutorul butonului **Select and Link** activ, pistonul materializat de obiectul **Tube** și articulația se leagă de obiectul **Dummy**, fig. 6.63.

Câteva dintre cadrele animației obținute sunt prezentate în fig. 6.64.

6.7. Animația unui motor cu ardere internă folosind sistemele Bones

Acest capitol propune animația unui mecanism folosind schelete, respectiv sistemele **Bones**. Elementele componente ale mecanismului vor fi materializate cu ajutorul obiectelor de tip **Box** (pentru brațe) și **Cylinder** (pentru articulații).

Așa cum s-a mai menționat obiectivul aplicațiilor de simulare prezentate în această lucrare, îl reprezintă familiarizarea cu modul de aplicare al instrumentelor specifice animației și mai puțin cu al celor de modelare geometrică, acestea din urmă reprezentând subiectul altui tip lucrare.

Așadar pentru crearea articulațiilor, în viewport-ul **Front** s-au creat cilindrii pentru care raza a fost setată la valoarea 10 iar înălțimea la valoarea -20, aceștia fiind plasați în punctele de coordonate (0, 0, 0), (0, 0, 100) și (0, 0, 200). Pentru cilindri realizați, s-a aplicat comanda **Affect Object Only** a panoului de comandă **Hierarchy**, sub-panoul **Pivot**, pentru a fi deplasați după

doar după axa Y (valoarea -10) astfel încât punctul pivot să fie în centrul înălțimii acestora.

Pentru a realiza brațele mecanismului se selectează viewport-ul **Top** și se creează trei obiecte de tip **Box**; două dintre aceste obiecte au dimensiuni identice, respectiv **Length**: 10, **Width**: 10 și **Height**: 100 iar punctele pivot în punctele de coordonate $(0, 0, 0)$ și $((0, 0, 100))$, iar cel de al treilea obiect **Box** dimensiunile **Length**: 10, **Width**: 10 și **Height**: 20 iar punctul pivot în punctul de coordonate $(0, 0, 200)$.

Pentru a crea baza mecanismului se va folosi tot un obiect **Box** având setate următoarele valori ale parametrilor: **Length**: 40, **Width**: 40 și **Height**: -20 iar amplasarea în punctul de coordonate $(0, 0, 0)$, fig. 6.65.

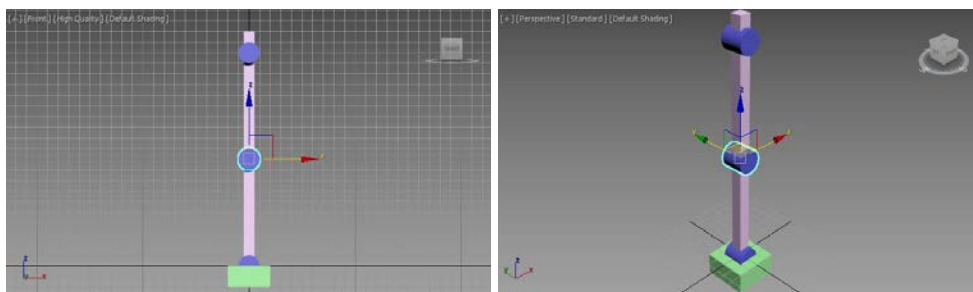


Fig. 6.65. Crearea modelului geometric al mecanismului

În următoarea etapă cu ajutorul panoului de comandă **Create**, sub-panoul **Systems**, butonul **Bones**, în viewport-ul **Front** se creează un sistem **Bones** format din patru elemente, fig. 6.66.

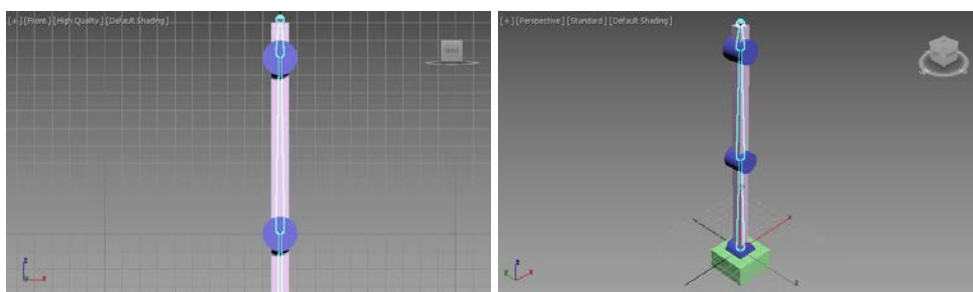


Fig. 6.66. Crearea unui sistem **Bones**, panoul **Systems**

Următoarea etapă constă din legarea elementelor mecanismului de elementele sistemului **Bones**. Pentru aceasta se selectează pe rând cele trei brațe (obiectele **Box**) iar cu ajutorul butonului **Select and Link** se trage de pe braț pe elementul **Bones** asociat, fig. 6.67.

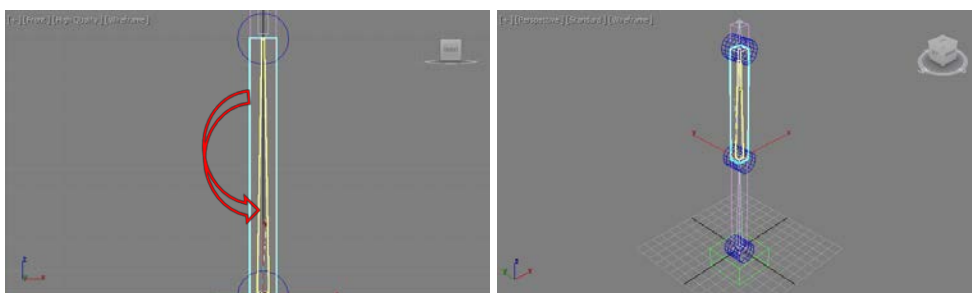


Fig. 6.67. Legarea brațelor (**Box**) de elementele **Bones** asociate

Pentru legarea articulațiilor, acestea se selectează pe rând și cu ajutorul butonului **Select and Link** activ se trage mouse-ul peste brațul precedent corespunzător, fig. 6.68.



Fig. 6.68. Fiecare articulație se leagă de brațul precedent

Pentru a verifica corectitudinea realizării legăturilor, se poate executa rotirea elementelor **Bones**, fig. 6.69.

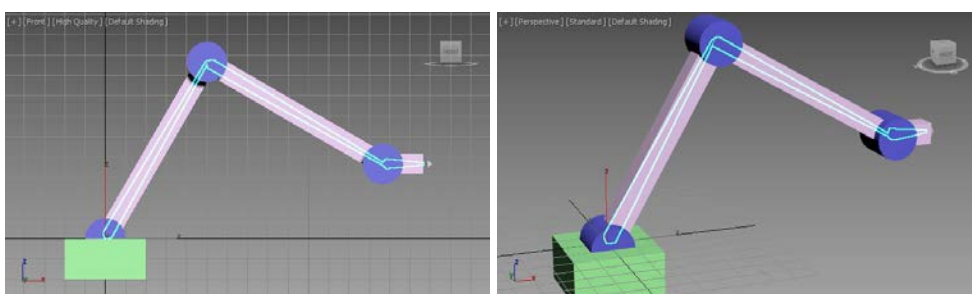


Fig. 6.69. Rotirea celor trei elemente **Bones** și verificarea legăturilor create

În acest moment se poate aplica instrumentul **HI Solver**; pentru aceasta se selectează cel de al treilea element **Bones** (elementul **Bone003**), se deschide meniul **Animation**, sub-meniul **IK Solvers** și se alege comanda **HI Solver** după care în scenă se trage mouse-ul peste primul element **Bones**, fig. 6.70.

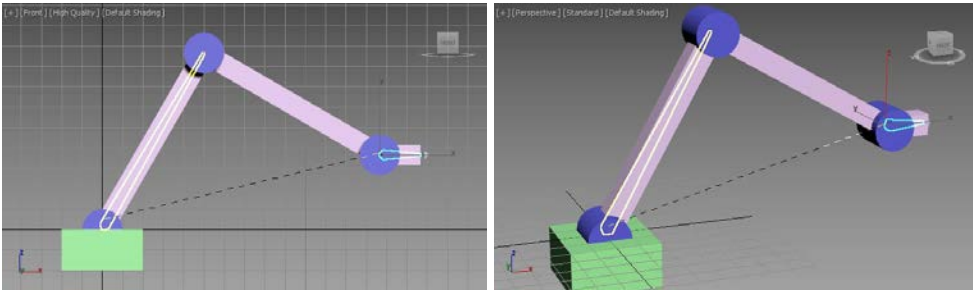


Fig. 6.70. *Aplicarea instrumentului HI Solver*

Deplasarea elementului efector al lanțului cinematic creat va conduce la deplasări în toate cuplele mecanismului, verificarea funcționării fiind prezentată în fig. 6.71.

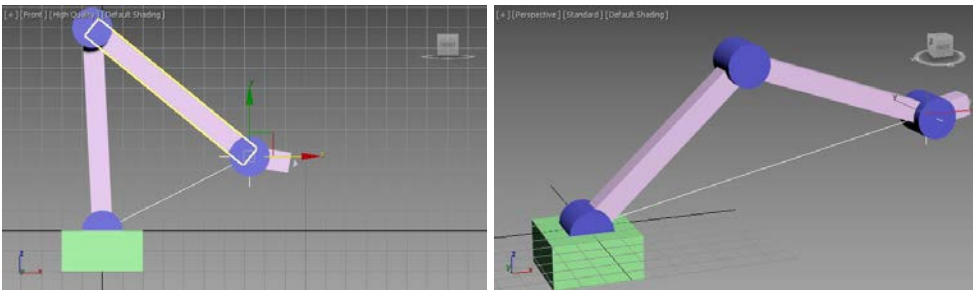


Fig. 6.71. *Verificarea lanțului cinematic HI Solver*

Pentru a crea discul cu mișcare de rotație, în viewport-ul **Front** se creează un obiect **Cylinder** având raza de 70, înălțimea de -20 iar punctul de coordonate (150, 15, 40). Pentru ca mișcarea acestui disc să provoace animația mecanismului creat, efectorul lanțului cinematic (elementul **IK Chain001**) se deplasează corespunzător, respectiv în punctul de coordonate (100, 0, 40), fig. 6.72.

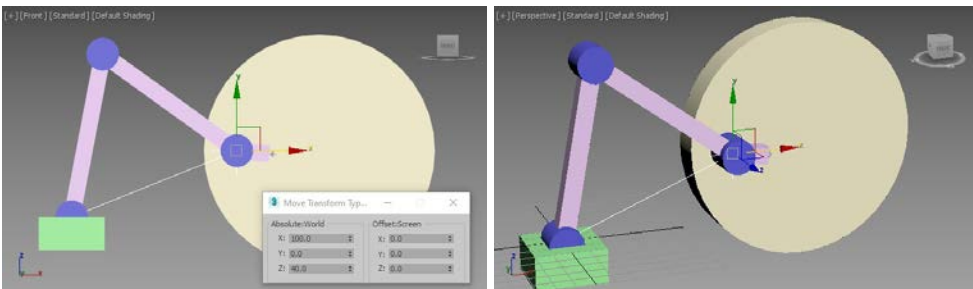


Fig. 6.72. *Realizarea discului și amplasarea corespunzătoare a efectorului lanțului cinematic*

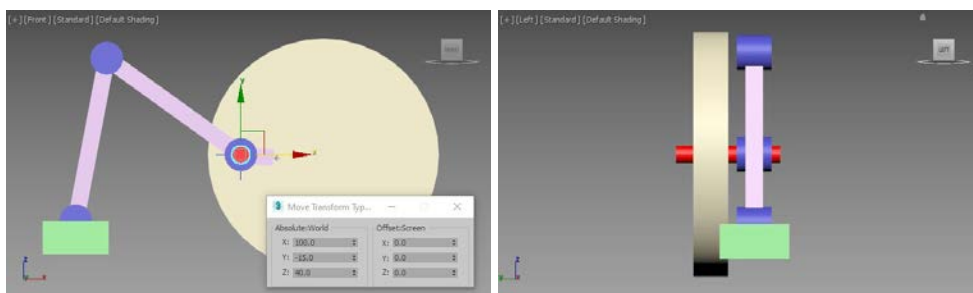


Fig. 6.73. Finalizarea modelării geometrice – realizarea bolțului de legătură dintre disc și lanțul cinematic

Pentru a crea legătura dintre disc și ultima articulație a mecanismului, respectiv pentru a crea legătura prin intermediul căreia se va transmite mișcarea de rotație de la disc la mecanism, se creează un bolț de legătură materializat de un obiect **Cylinder** având valoarea razei de 5 și înălțimea de -60, iar poziția în punctul de coordonate (100, -15, 40), fig. 6.73.

Pentru a realiza legătura dintre noile elemente create și lanțul cinematic este necesară parcurgerea a două etape.

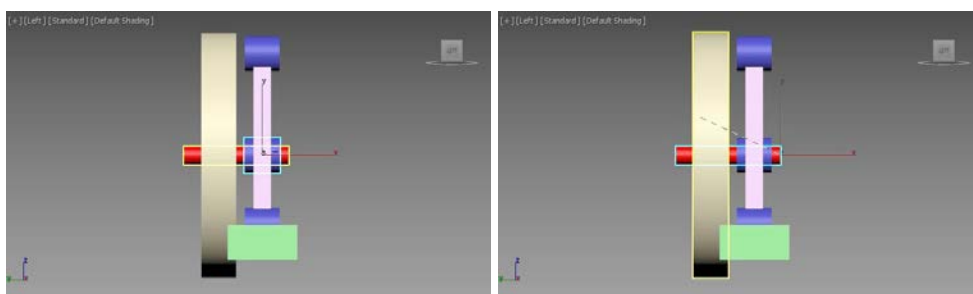


Fig. 6.74. Se leagă articulația de bolț și bolțul de disc

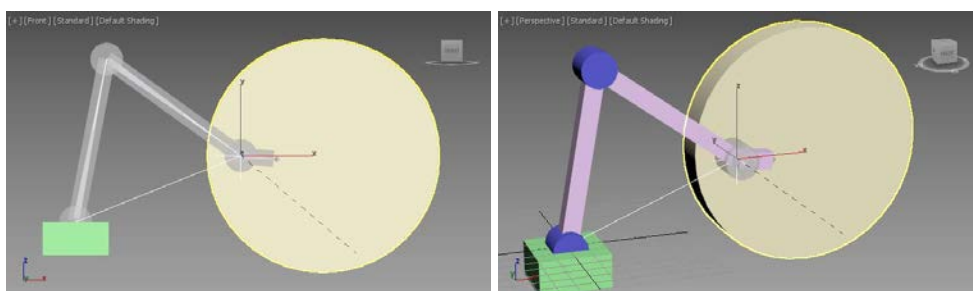
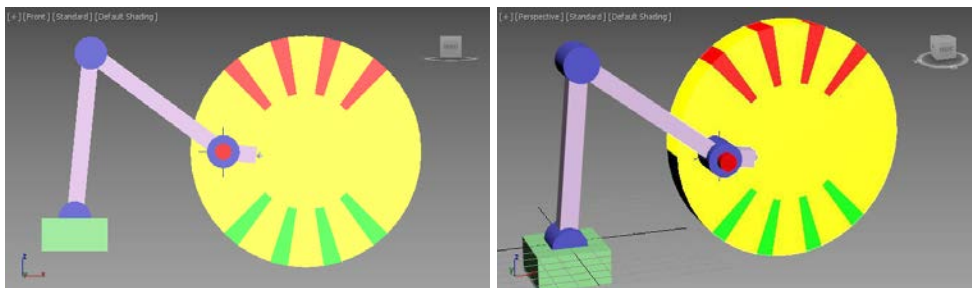


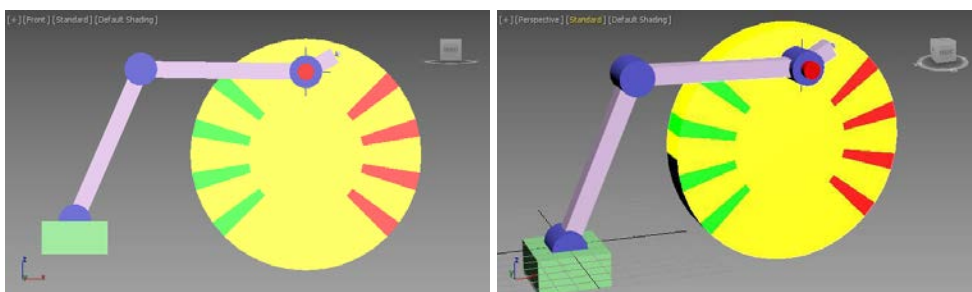
Fig. 6.75. Legarea lanțului cinematic de disc

În prima etapă este necesar ca articulația să se lege de bolț iar bolțul de disc; pentru aceasta se selectează obiectul ce se dorește a fi legat, se activează

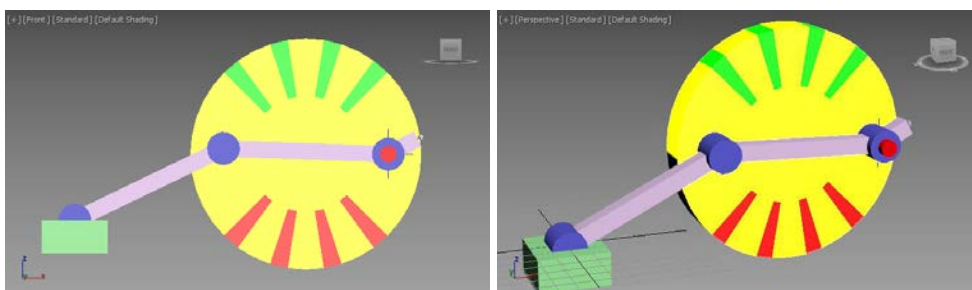
butonul **Select and Link** și se trage în scenă peste obiectul de care se dorește legarea, fig. 6.74.



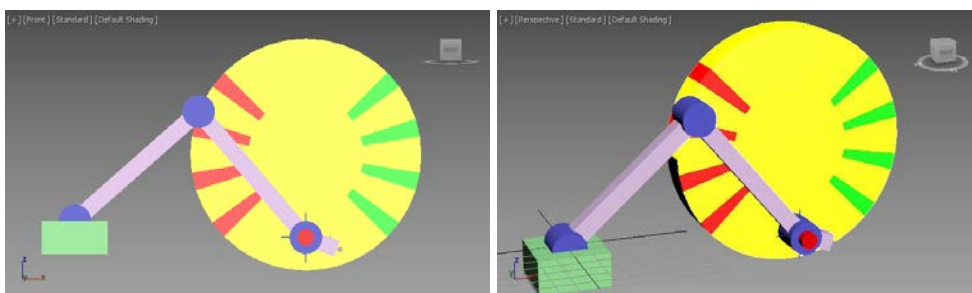
Cadrul 0



Cadru 25



Cadrul 50



Cadrul 75

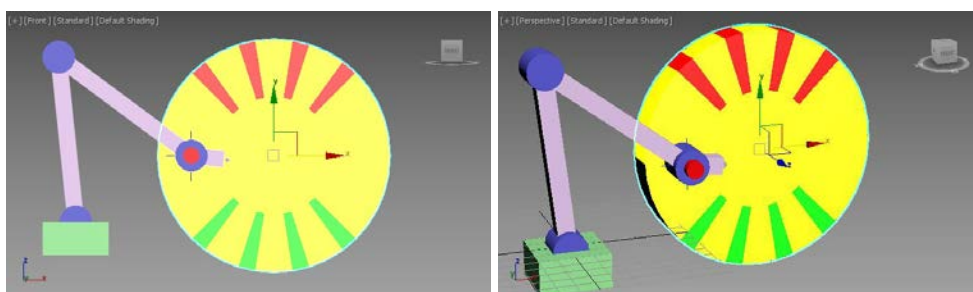
Fig. 6.76. Rezultatul simulării

În cea de a doua etapă, se leagă efectorul lanțului cinematic (elementul **IK Chain001**) de disc, prin tragerea mouse-ului de pe lanț peste disc cu ajutorul butonului **Select and Link** activ, fig. 6.75.

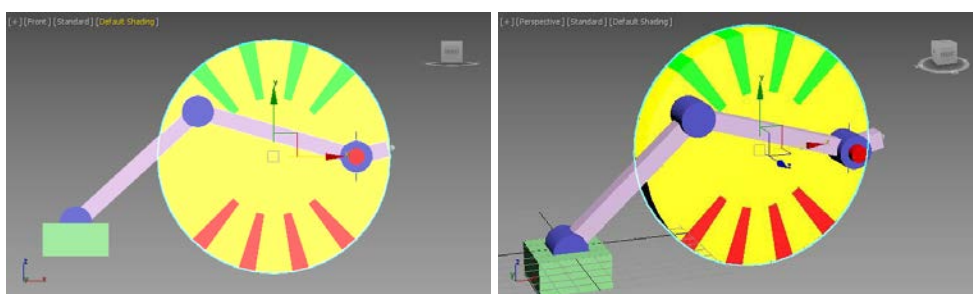
În acest moment rotirea după axa Y a discului va produce animația lanțului cinematic **IK**. Pentru prezentul exemplu, cu ajutorul ferestrei **Track View – Curve Editor**, s-au atribuit 2 chei de animație pentru ramura **YRotation** a discului (pentru o rotație completă de 360 de grade), rezultatul simulării fiind prezentat în fig. 6.76.

Dacă în urma simulării se constată că unele cadre de animație conduc la configurații ale mecanismului mai puțin satisfăcătoare (spre exemplu cadrul 50 al simulării din fig. 6.76), se poate realiza o deplasare a discului.

Astfel, dacă discul este deplasat după axa X , din punctul de coordonate (150, 15, 40) în punctul (120, 15, 40), se poate observa că mecanismul își modifică configurația și reacționează corect, fig. 6.77.



Cadru 0



Cadru 50

Fig. 6.77. Deplasarea discului

BIBLIOGRAFIE

1. Eftimie E. Animația asistată de calculator. Editura Universității “Transilvania”, Brașov, 2016
2. Lei, Z, Taghaddos, H., Han, S.H., Bouferguène, A., Al-Hussein, M., Hermann, U., From AutoCAD to 3ds Max: An Automated Approach for Animating Heavy Lifting Studies. Canadian Journal of Civil Engineering 42, 2015.
3. Murdock, L. K. Autodesk 3ds Max 2021 Complete Reference Guide. SDC Publications, 2020.
4. Murdock, L. K. Autodesk 3ds Max 2024 Basics Guide. SDC Publications, 2023.
5. Prameswari, S. J. The Comparison between the Use of Blender and 3DSMax application toward students' Comprehension of 3D Animation Subject at Vocational School in Surakarta, Indonesian Journal of Informatics Education, 2020.
6. Ticko, S. Autodesk 3ds Max 2020, A Comprehensive Guide, 20th Edition, CADCIM Technologies, USA, 2019.
7. Ticko, S. Autodesk 3ds Max 2021, A Comprehensive Guide, 21th Edition, CADCIM Technologies, USA, 2020.
8. ***Autodesk 3ds Max 2022 Fundamentals. Editor ASCENT, 2021.
9. <https://www.gfxtotal.com.br/tutoriais>
10. <http://www.ace5studios.com/tutorials>
11. <https://www.udemy.com/>
12. <https://www.dropbox.com/s/xelw3kypu92>