



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Τεχνητή Νοημοσύνη I

Ενότητα 4Α: Πληροφορημένη αναζήτηση και
εξερεύνηση

Μουστάκας Κωνσταντίνος
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Πληροφορημένη Αναζήτηση και Εξερεύνηση



Περιεχόμενα ενότητας

- Πληροφορημένη Αναζήτηση και Εξερεύνηση



Πληροφορημένη αναζήτηση και εξερεύνηση



Σύγκριση στρατηγικών απληροφόρητης αναζήτησης

Στον πίνακα της Εικόνας 3.17 συγκρίνονται οι στρατηγικές αναζήτησης με βάση τα τέσσερα κριτήρια αξιολόγησης που θέσαμε στην Ενότητα 3.4.

Κριτήριο	Πρώτα σε πλάτος	Ομοιόμορφου κόστους	Πρώτα σε βάθος	Περιορισμένου βάθους	Επαναληπτικής εκβάθυνσης	Αμφίδρομη (αν εφαρμόζεται)
Πλήρης:	Ναι ^a	Ναι ^{a,b}	Όχι	Όχι	Ναι ^a	Ναι ^{a,d}
Χρόνος	$O(b^{d+1})$	$O(b^{1+cn/\epsilon})$	$O(b^m)$	$O(b^l)$	$O(b^d)$	$O(b^{d/2})$
Χώρος	$O(b^{d+1})$	$O(b^{1+cn/\epsilon})$	$O(bm)$	$O(bl)$	$O(bd)$	$O(b^{d/2})$
Βέλτιστη:	Ναι ^c	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι ^c	Ναι ^{c,d}

Εικόνα 3.17 Αξιολόγηση των στρατηγικών αναζήτησης. b είναι ο παράγοντας διακλάδωσης· d είναι το βάθος της ρηχότερης λύσης· m είναι το μέγιστο βάθος του δένδρου αναζήτησης· l είναι το όριο βάθους. Οι επιφυλάξεις είναι οι εξής: ^a πλήρης αν το b είναι πεπερασμένο· ^b πλήρης αν τα κόστη βημάτων είναι $\geq \epsilon$ για ϵ θετικό· ^c βέλτιστη αν τα κόστη βημάτων είναι όλα ίδια· ^d αν και οι δύο κατευθύνσεις χρησιμοποιούν αναζήτηση πρώτα σε πλάτος.



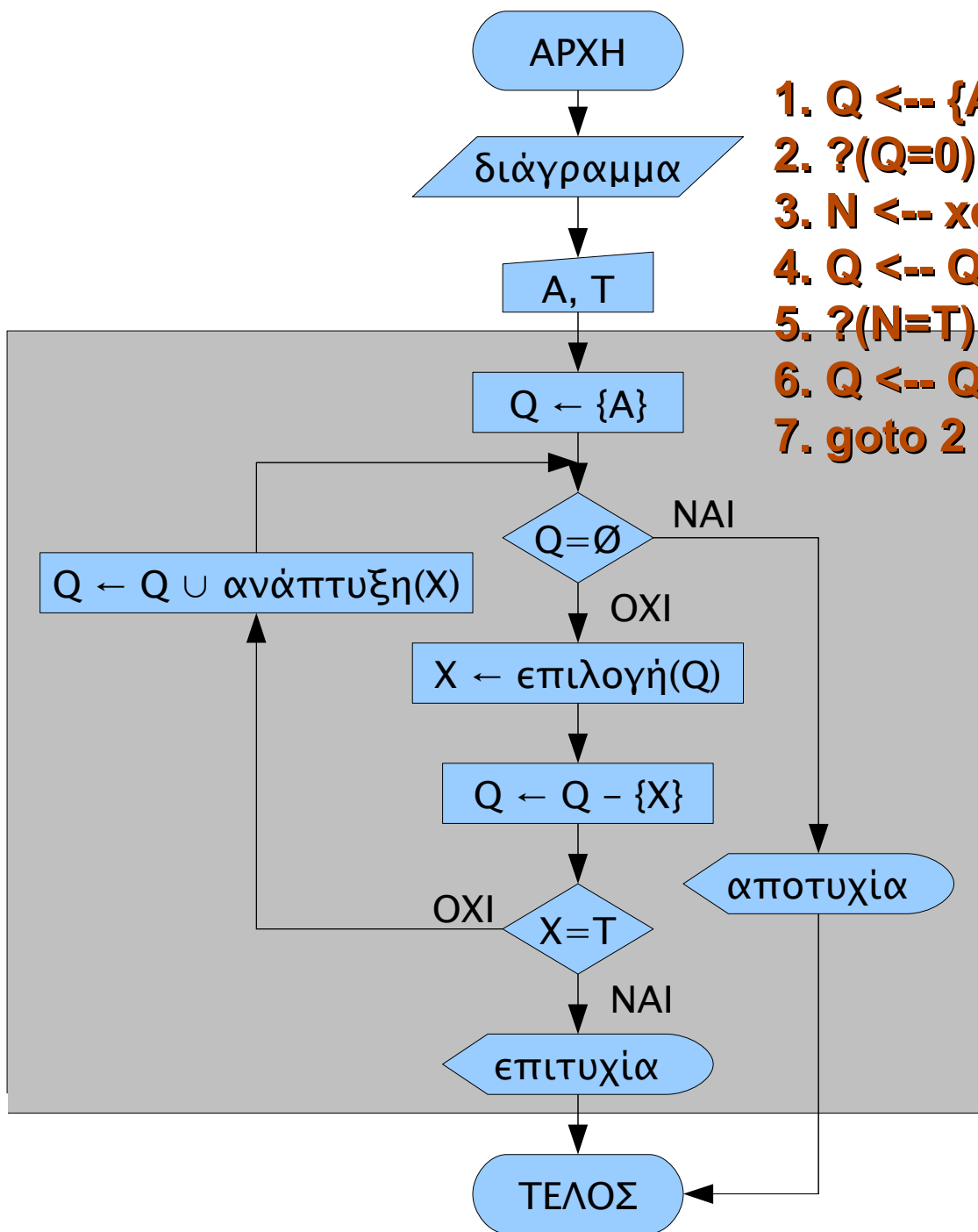
(Γενικός) Αλγόριθμος Αναζήτησης

(Έστω A η τρέχουσα κατάσταση)

(Έστω Q η δομή που περιέχει τις υποψήφιες επόμενες καταστάσεις)

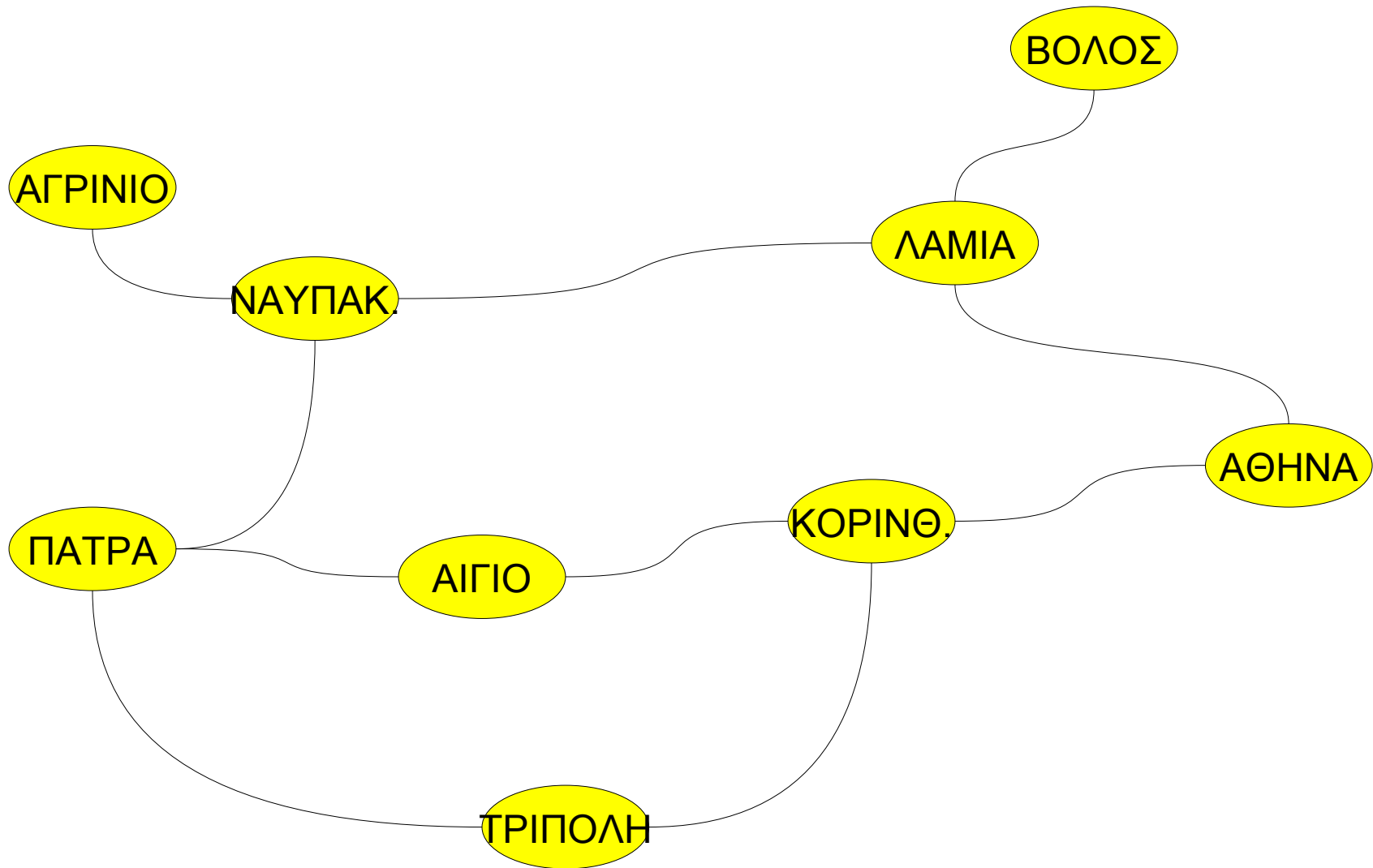
1. Εξέτασε μήπως η A είναι η τελική T
2. Βρες (μία, όλες, ή κάποιες από) τις καταστάσεις που προκύπτουν από την A
3. Πρόσθεσέ τις (με κάποιο τρόπο) στη δομή Q
4. Επέλεξε (με κάποιο τρόπο) μια κατάσταση N από τη δομή Q
5. $A=N$ και πήγαινε στο βήμα 1

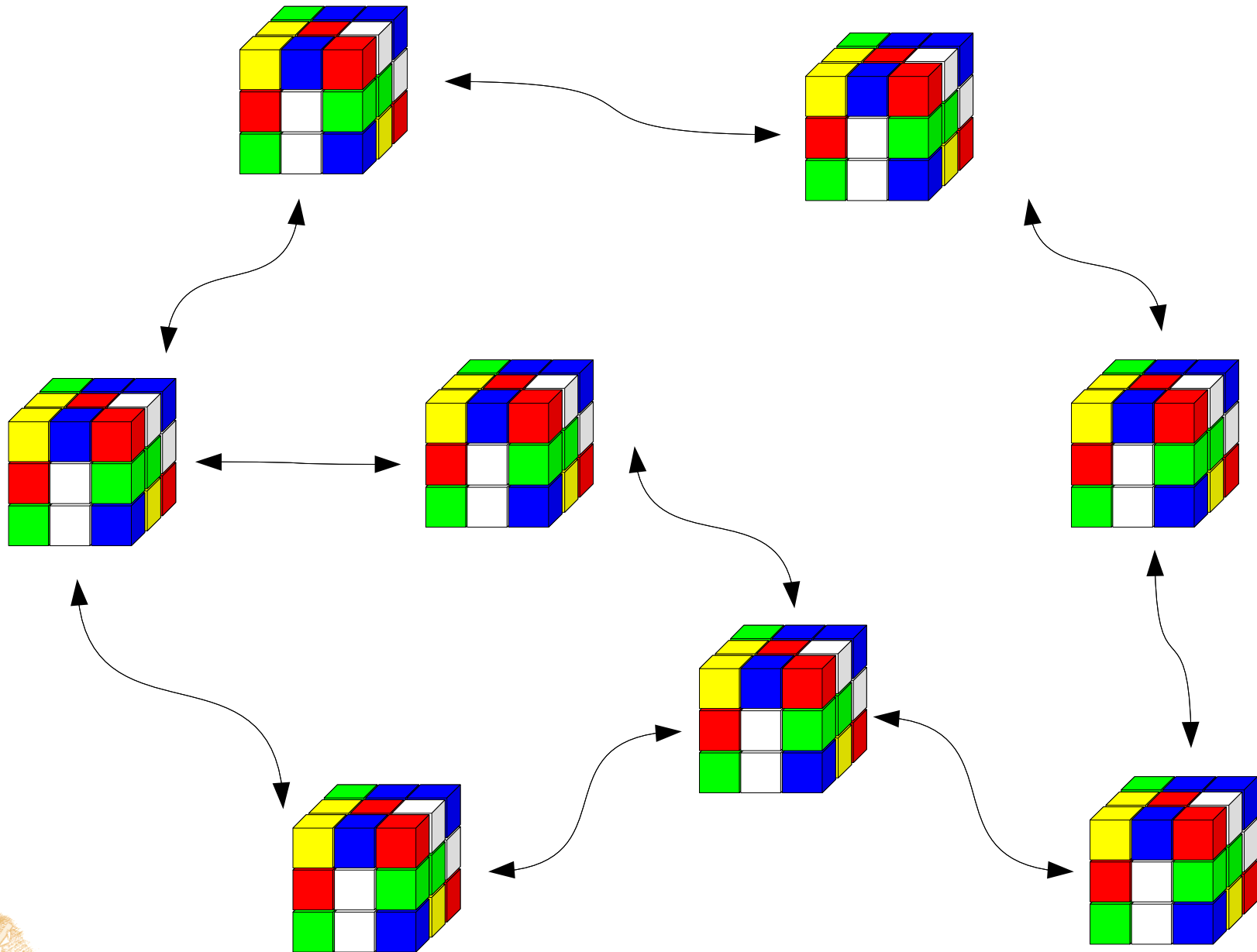




1. $Q \leftarrow \{A\}$
2. $?(Q=0) \Rightarrow \text{stop}(\text{αποτυχία})$
3. $N \leftarrow \text{xe}Q$
4. $Q \leftarrow Q - \{N\}$
5. $?(N=T) \Rightarrow \text{stop}(\text{επιτυχία})$
6. $Q \leftarrow \text{Qexpand}(N)$
7. goto 2







Στρατηγικές πληροφορημένης αναζήτησης

- Πληροφορημένη αναζήτηση (informed search)
- Συνάρτηση αξιολόγησης (evaluation function),
 $f(n)=g(n)+h(n)$
 - Δηλώνει κόστος διαδρομής, γιατί προτιμώνται οι κόμβοι με τις μικρότερες τιμές
- Ευρετική συνάρτηση (heuristic function), $h(n)$
 - Συνήθως εκτίμηση απόστασης προς το στόχο



Depth-First

Βελτιωμένη
Br. & Bound

Br. & Bound
με Δυν.Προγρ.

Breadth-First

Βελτ. B&B
με Δυν.Προγρ.

Beam Search

Hill Climbing

Depth-First
Iter. Deepening

Generate & Test

Best-First
(Greedy)

Steepest Ascend
Hill Climbing

Branch & Bound
(Uniform Cost)

British Museum

A*



Βελτιωμένη = με συνάρτηση εκτίμησης $h(n)$

Με Δυναμικό Προγραμματισμό = κάνει κλάδεμα επαναλαμβανόμενων καταστάσεων

Uninformed (Blind)

Informed (Heuristic)

Any Path

Generate & Test

Hill Climbing

Steepest Ascend
Hill Climbing

Depth-First

Best-First
(Greedy)

Beam Search

Depth-First
Iter. Deepening

Breadth-First

A*

Optimal Path

Branch & Bound
(Uniform Cost)

Βελτιωμένη
Br. & Bound

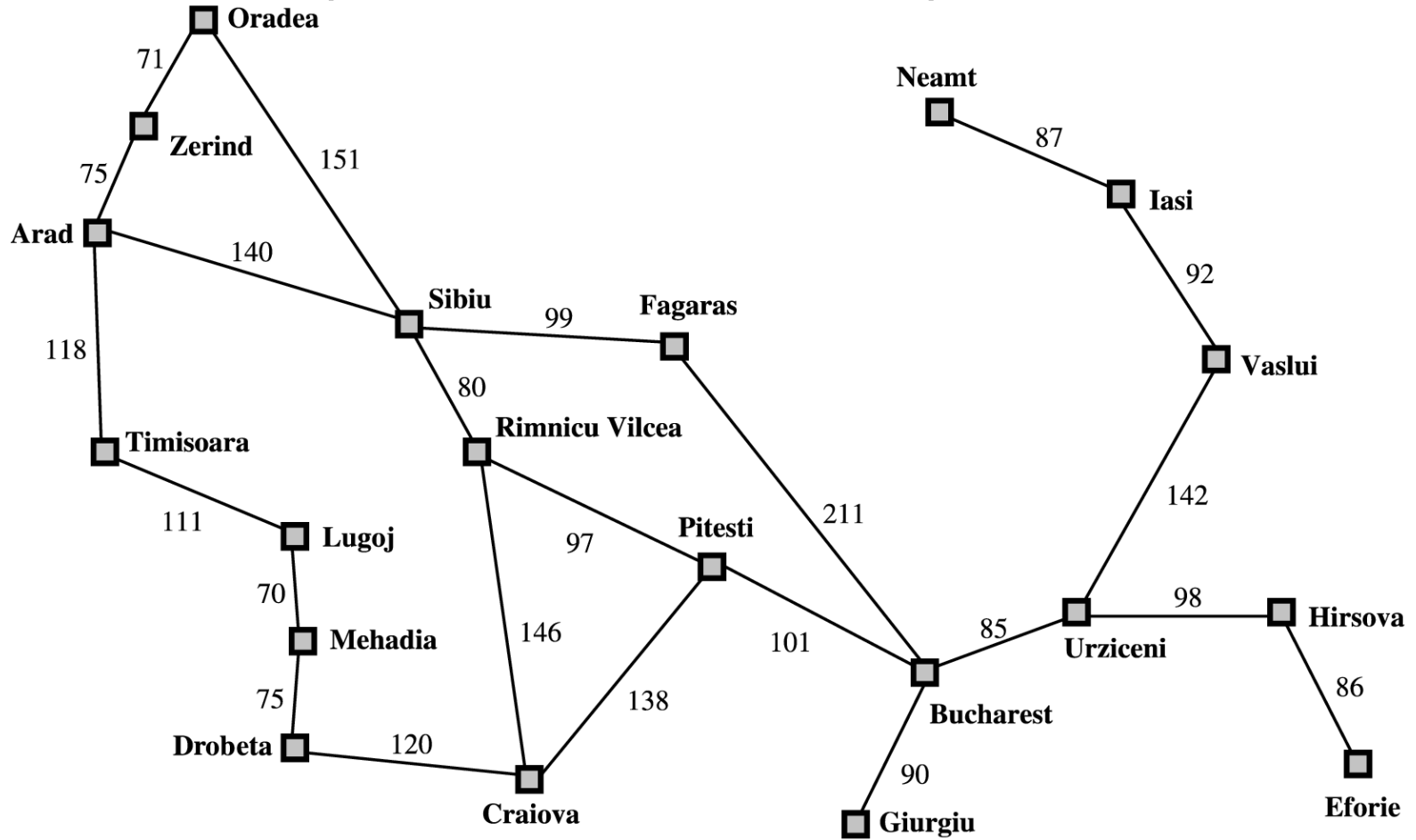
Βελτ. B&B
με Δυν.Προγρ.

British Museum

Br. & Bound
με Δυν.Προγρ.



Αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο (Best-First Search) (1/5)



$$f(n)=h(n)$$

h_{SLD} : Straight-Line Distance heuristic (ευθύγραμμη απόσταση)



Αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο (2/5)

Τιμές h_{SLD} για απόσταση από Βουκουρέστι

Arad	366		Mehadia	241
Bucharest	0		Neamt	234
Craiova	160		Oradea	380
Dobreta	242		Pitesti	100
Eforie	161		Rimniscu Vilcea	193
Fagaras	176		Sibiu	253
Giurgiu	77		Timisoara	329
Hirsova	151		Urziceni	80
Iasi	226		Vaslui	199
Lugoj	244		Zerind	374



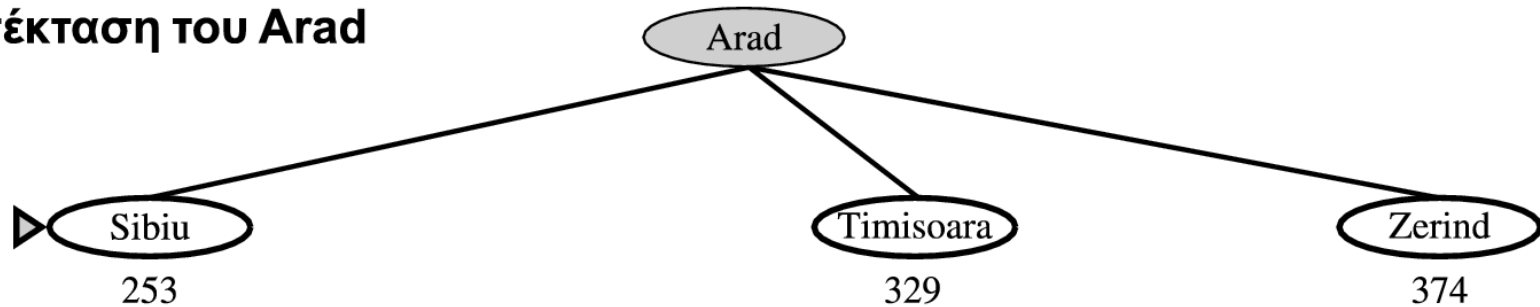
Αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο (3/5)

- Μετάβαση από το Arad στο Βουκουρέστι

(α) Η αρχική κατάσταση

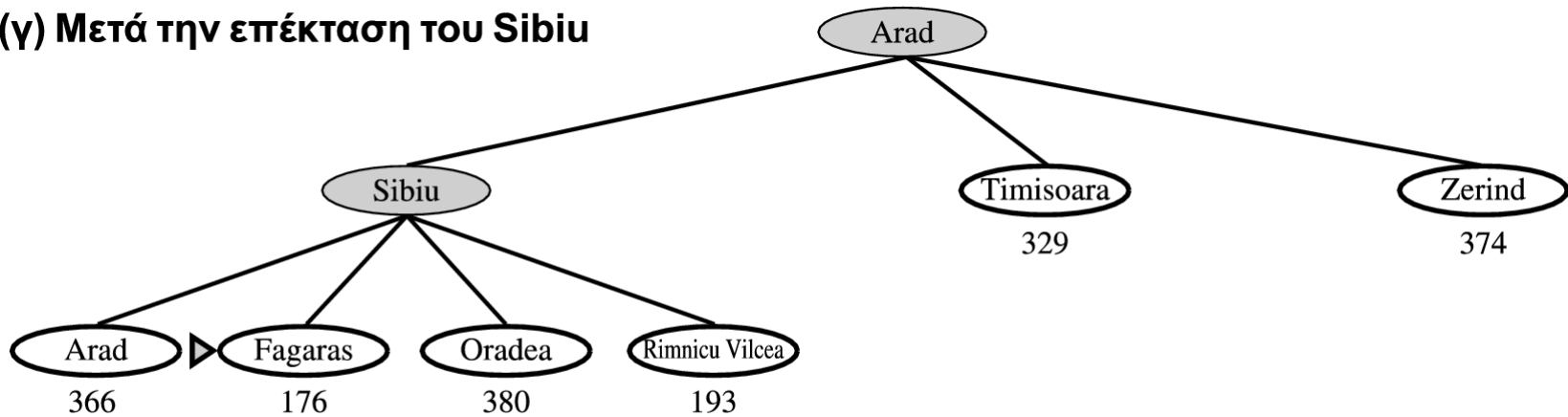


(β) Μετά την επέκταση του Arad

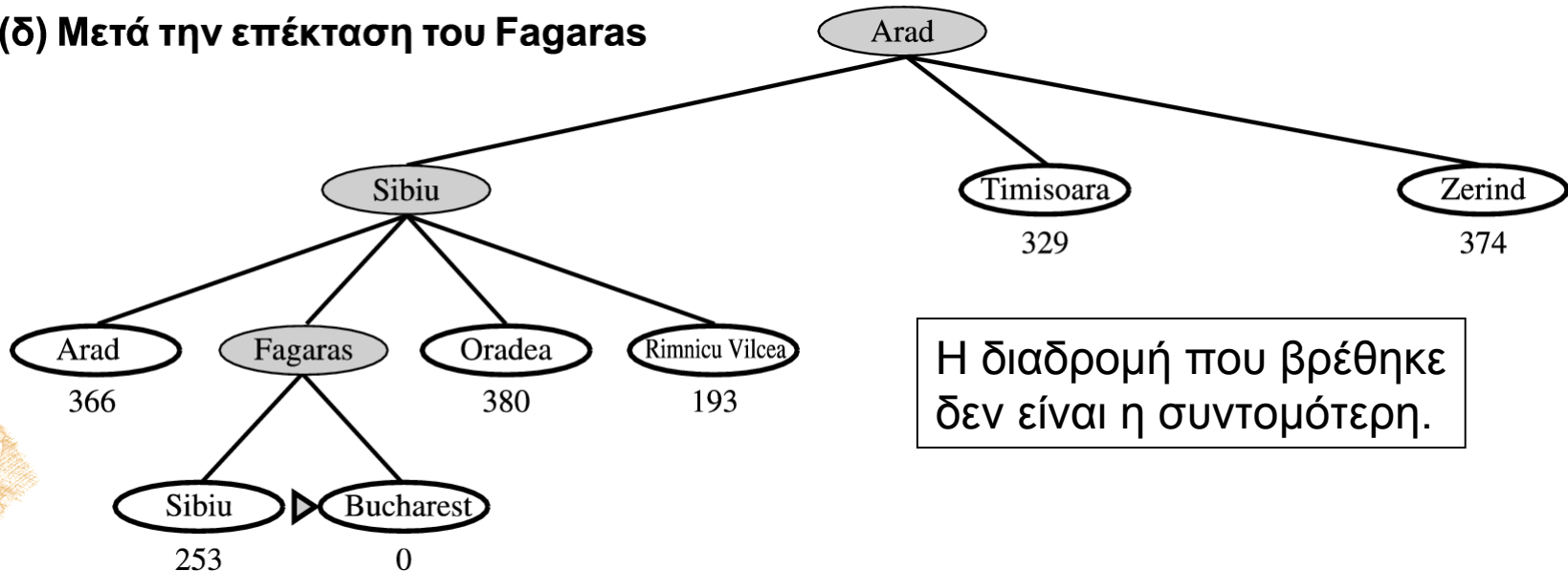


Αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο (4/5)

(γ) Μετά την επέκταση του Sibiu



(δ) Μετά την επέκταση του Fagaras



Η διαδρομή που βρέθηκε δεν είναι η συντομότερη.



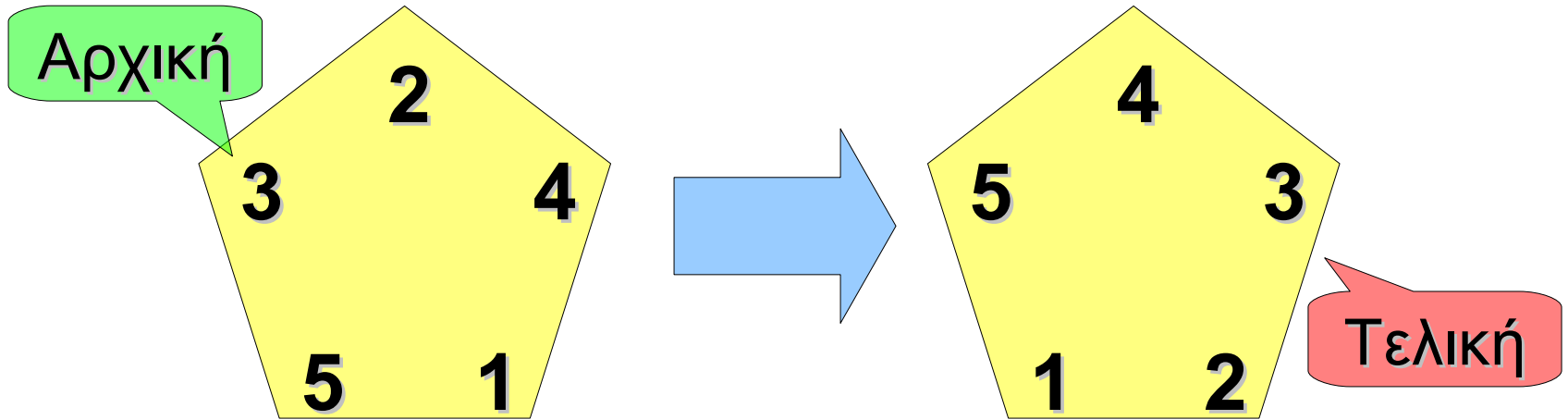
Αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο (5/5)

- Επιρρεπής σε λανθασμένες εκτιμήσεις:
 - Μετάβαση από Iasi σε Fagaras
- Έχει ομοιότητα με την αναζήτηση πρώτα κατά βάθος.
 - Μπορεί να μπλέξει σε ατέρμονο βρόχο.
- Χρονική, χωρική πολυπλοκότητα χειρότερης περίπτωσης: $O(b^m)$



Παράδειγμα

Σε κάθε κίνηση επιτρέπεται η εναλλαγή δυο απέναντι αριθμών

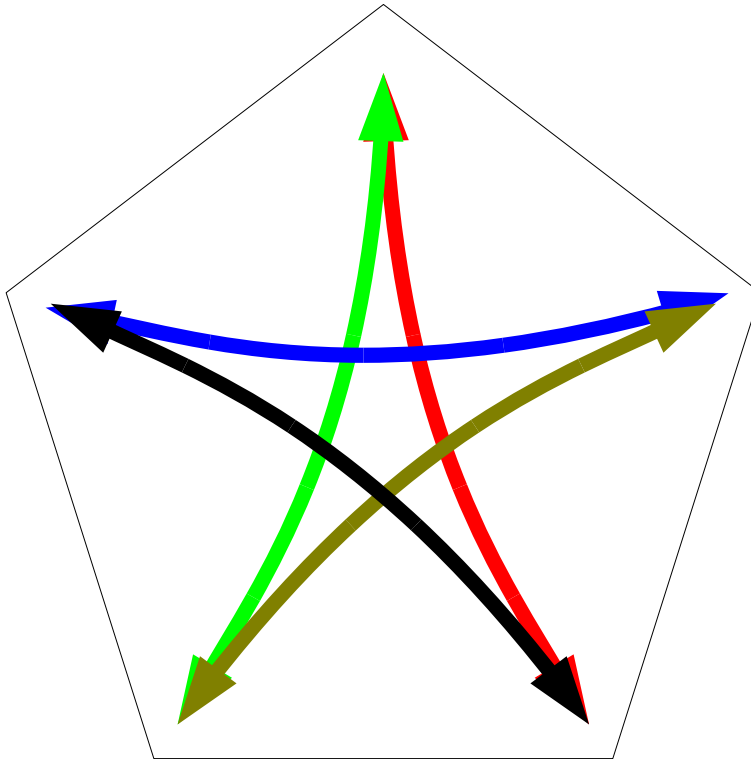


Να λυθεί με Best-First, θεωρώντας τη συνάρτηση εκτίμησης:

$$h = \sum_{n=1}^5 v(n), \quad \text{όπου } v(i) = \begin{cases} 0, & \text{αν } i \text{ στην τελική θέση} \\ 1, & \text{αν } i \text{ απέναντι από την τελική θέση} \\ 2, & \text{αν } i \text{ δίπλα από την τελική θέση} \end{cases}$$



Ανάλυση του προβλήματος



5
διαφορετικές
κινήσεις από
κάθε θέση



Παράγοντας
διακλάδωσης: 5
(branching factor)

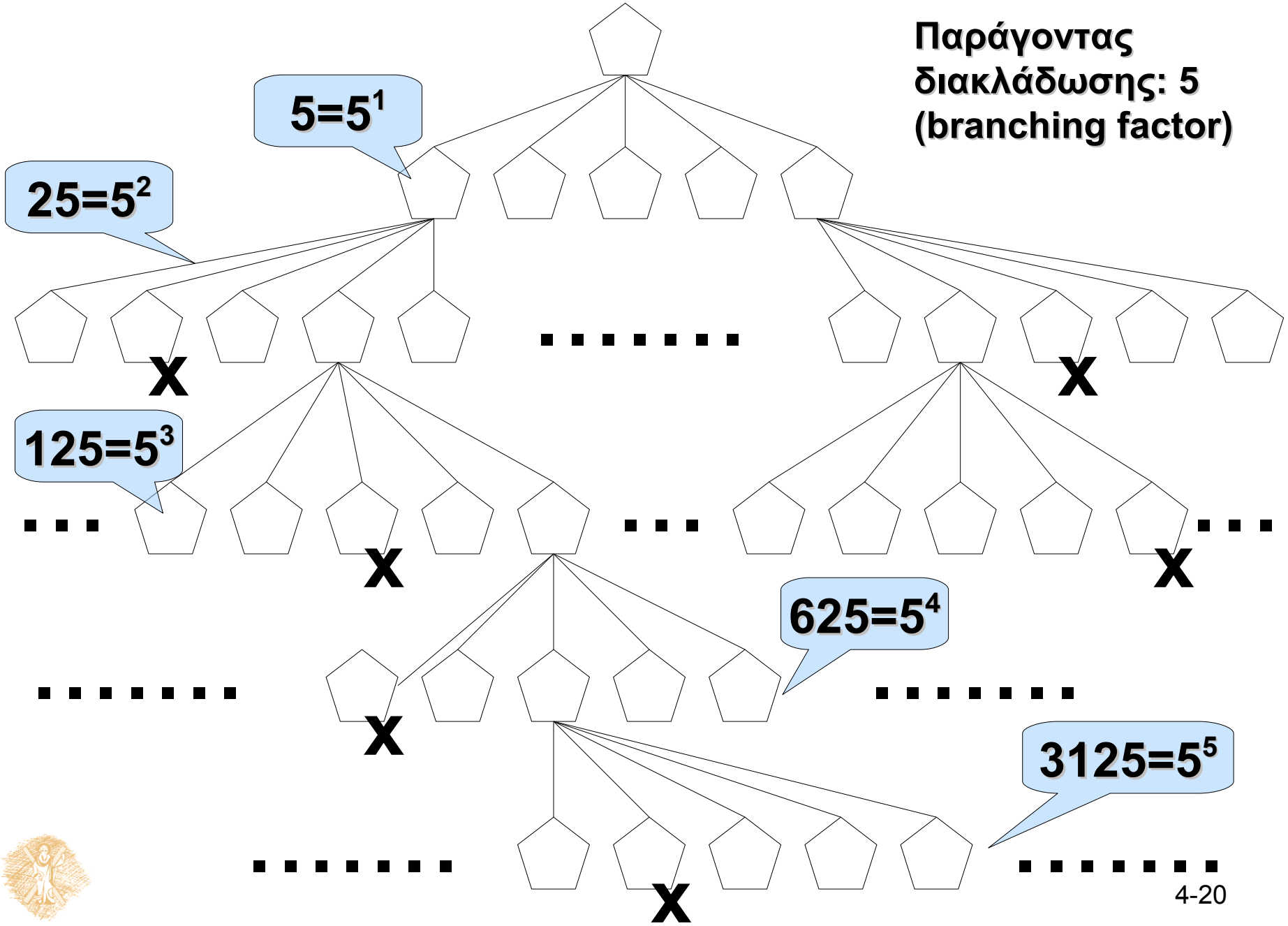
$5=5^1$

$25=5^2$

$125=5^3$

$625=5^4$

$3125=5^5$



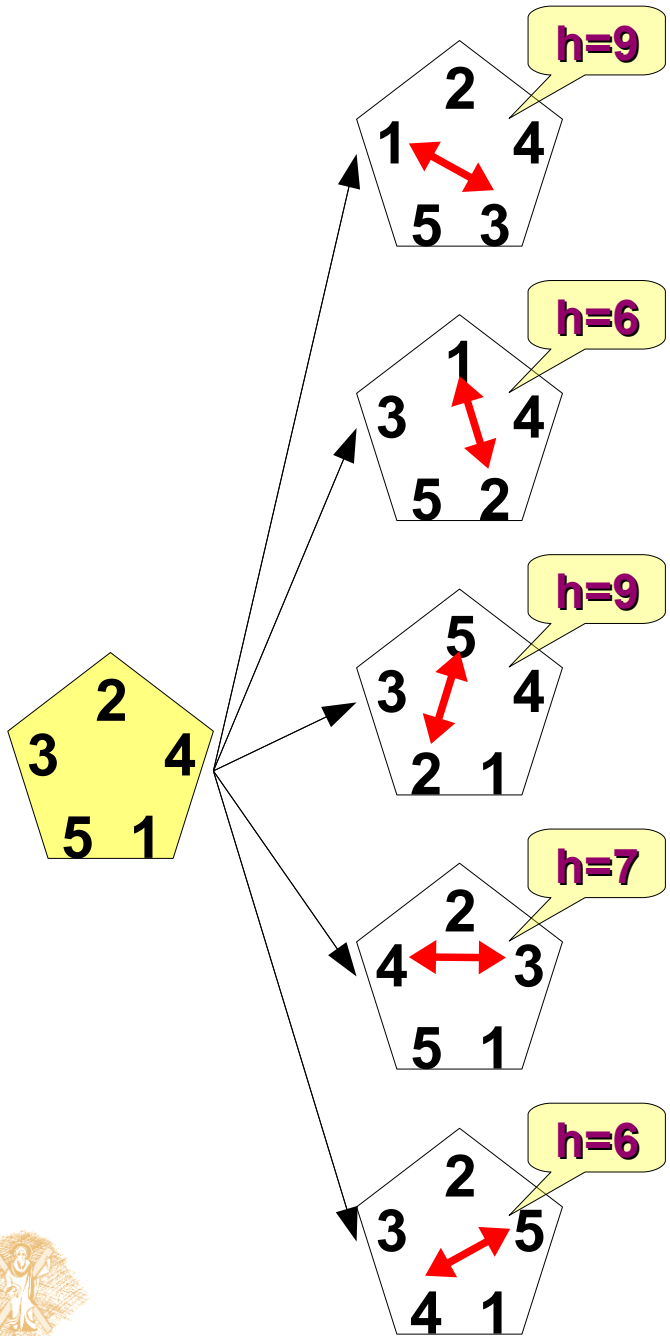
δ = παράγοντας διακλάδωσης
 β = βάθος επιπέδου

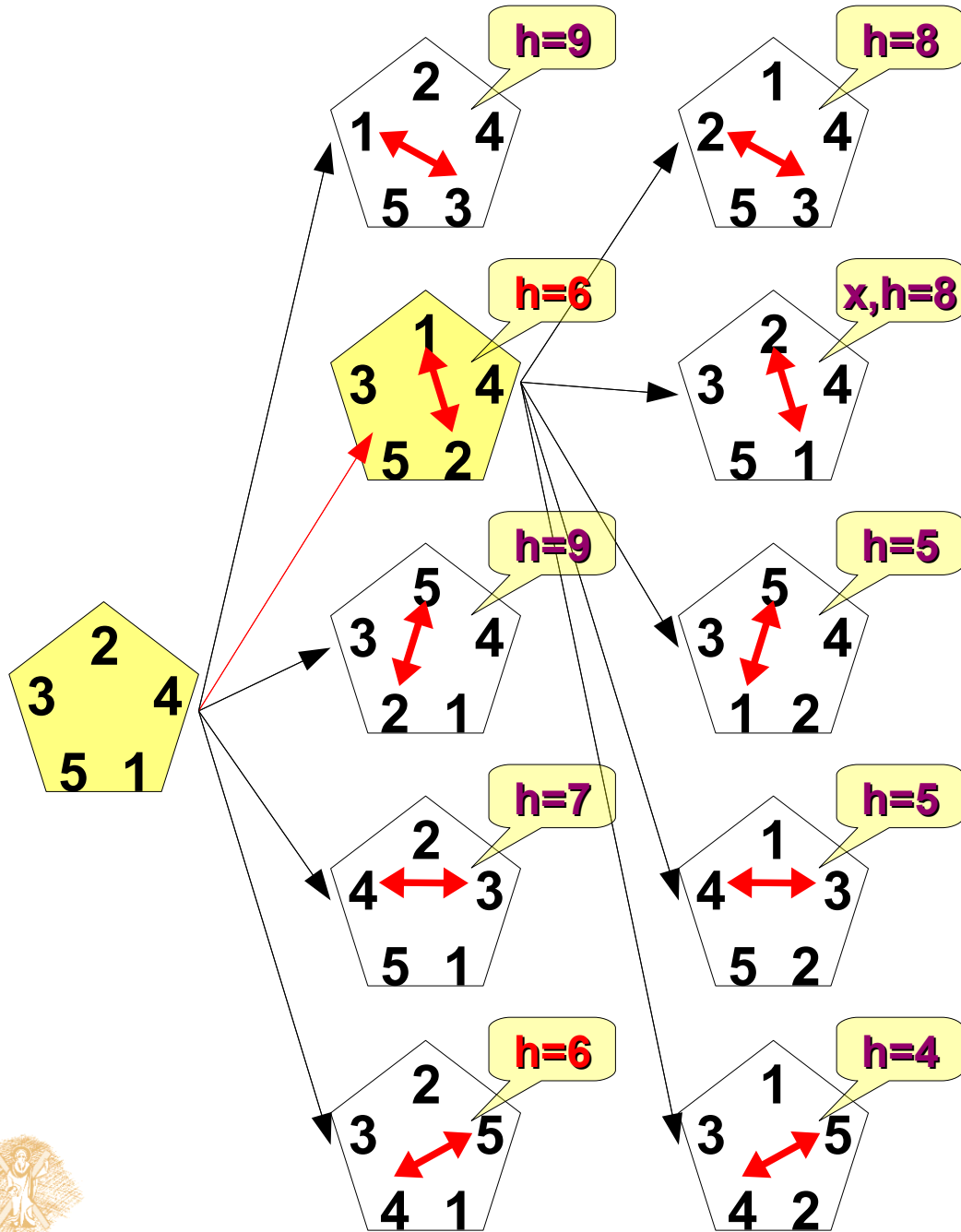
κόμβοι σε κάθε επίπεδο: δ^β

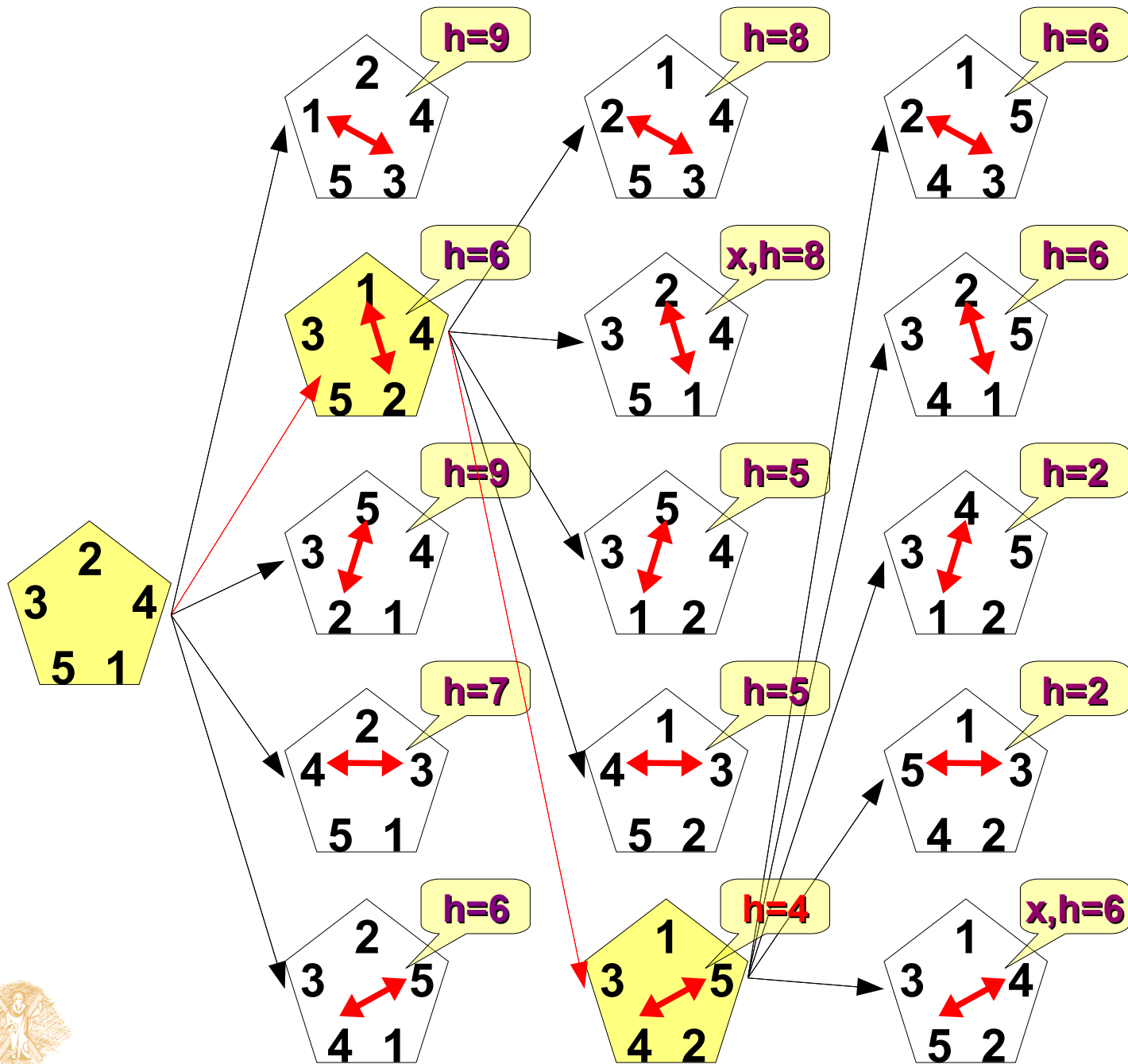
κόμβοι σε ολόκληρο το δέντρο
(μέχρι και το επίπεδο β):

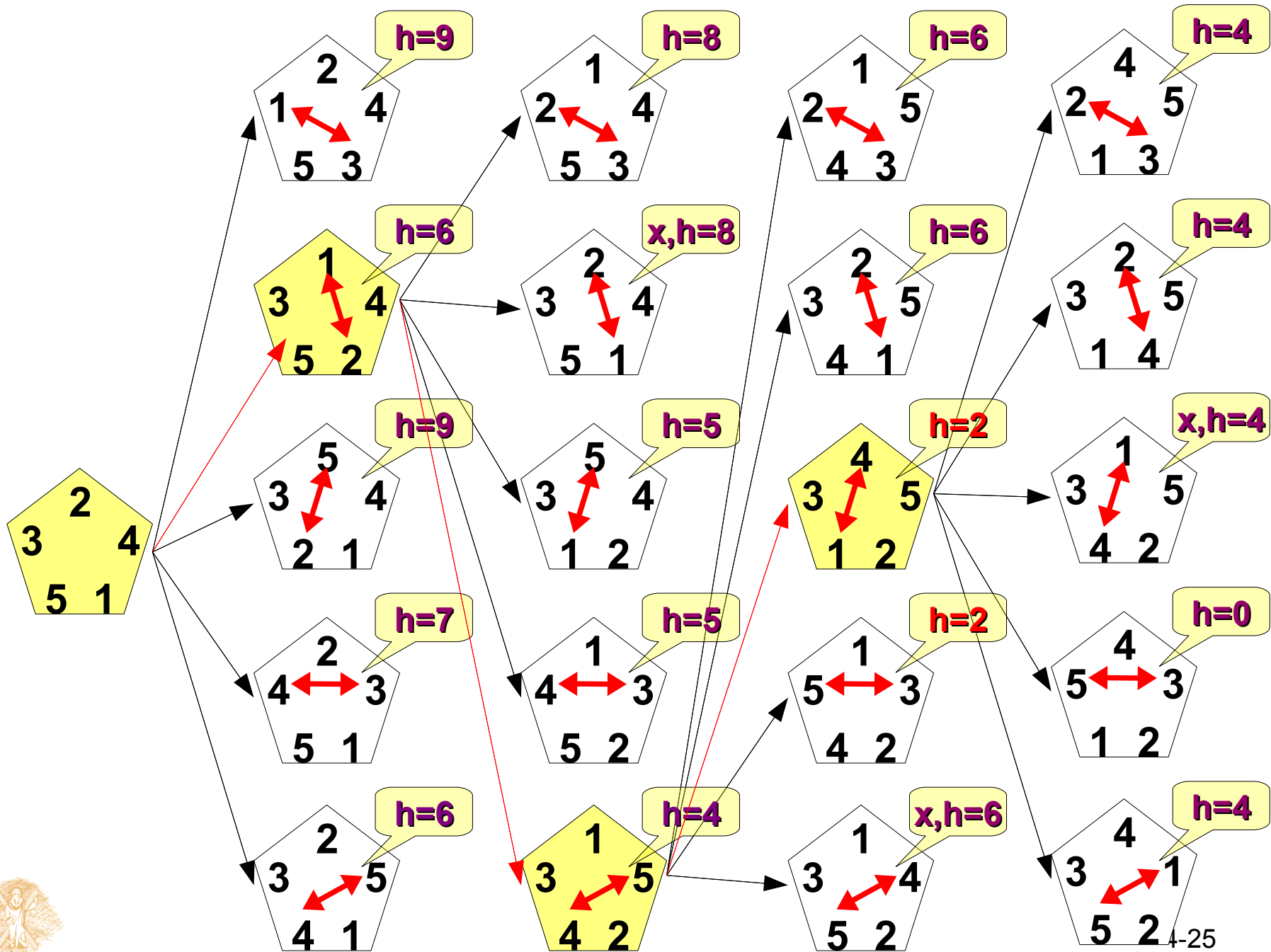
$$\sum_{i=0}^{\beta} \delta^i = 1 + \delta + \delta^2 + \dots + \delta^\beta = \frac{\delta^{(\beta+1)} - 1}{\delta - 1}$$

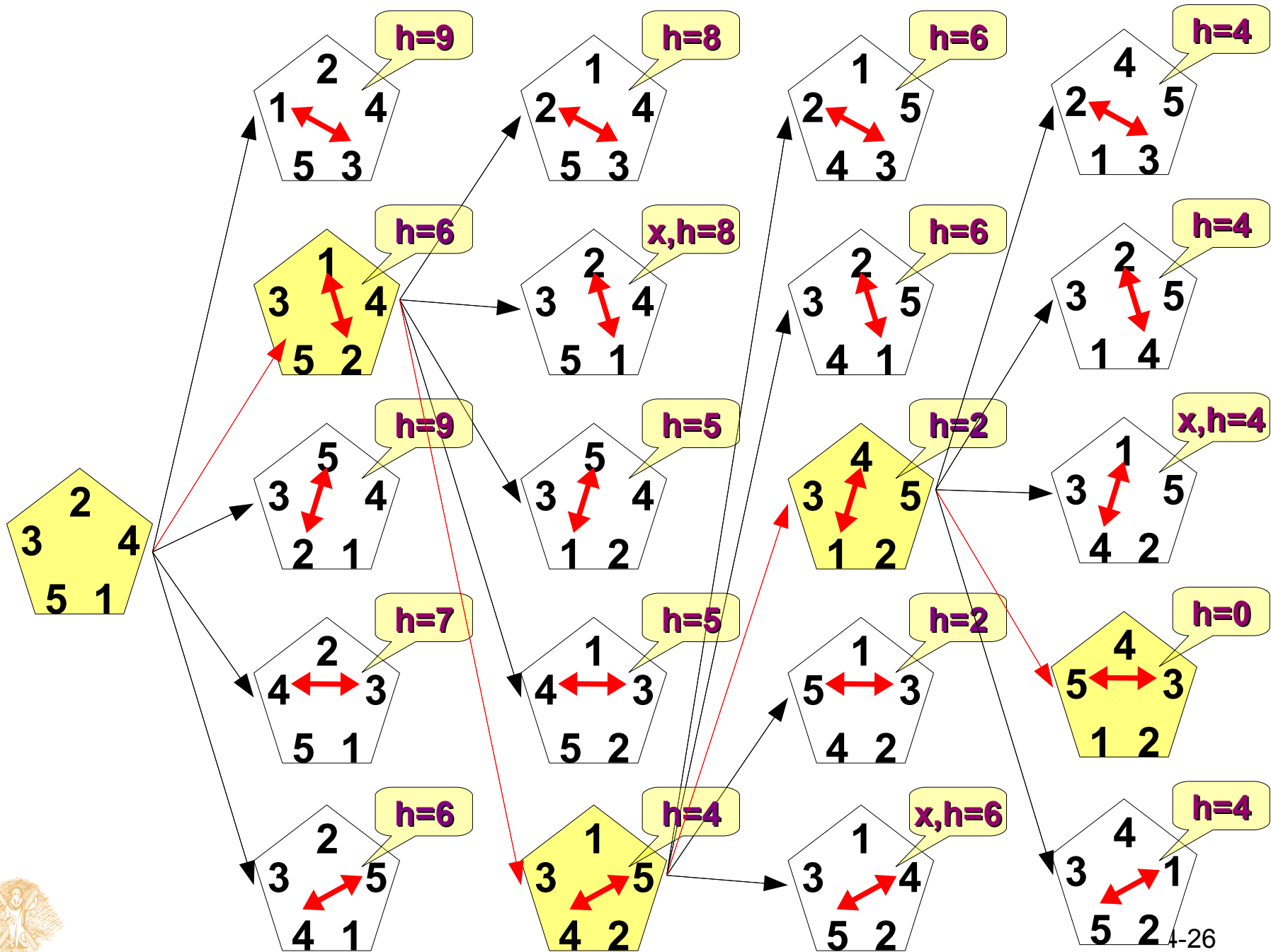












Puzzle-8

6	8	2
7		3
5	1	4



1	2	3
8		4
7	6	5

6	8	2
7		3
5	1	4

Απόσταση
Manhattan

Χαλάρωση-
Relaxation



6	8	2
7		3
5	1	4

h=14

6	8	2
7	1	3
5		4

h=13

6	8	2
7	1	3
5	4	

h=14

6	8	2
7	1	3
5		4

h=13

6	8	2
7	1	3
	5	4

h=12

6	8	2
	1	3
7	5	4

h=11

6	8	2
	7	3
5	1	4

h=15

6	8	2
7	1	3
	5	4

h=12

6	8	2
	1	3
7	5	4

h=11

6	8	2
1		3
7	5	4

h=10

6		2
1	8	3
7	5	4

h=9

6		2
7	8	3
5	1	4

h=13

6	8	2
7		3
5	1	4

h=14

	8	2
6	1	3
7	5	4

h=10

6	8	2
1	3	
7	5	4

h=11

6	8	2
7	3	
5	1	4

h=15

6	8	2
1	5	3
7		4

h=11



6	8	2
	1	3
7	5	4

h=11

	6	2
1	8	3
7	5	4

h=8

6		2
1	8	3
7	5	4

h=9

	6	2
1	8	3
7	5	4

h=8

1	6	2
	8	3
7	5	4

h=7

1	6	2
8		3
7	5	4

h=6

6		2
1	8	3
7	5	4

h=9

6	2	
1	8	3
7	5	4

h=8

1	6	2
	8	3
7	5	4

h=7

1	6	2
8		3
7	5	4

h=6

1		2
8	6	3
7	5	4

h=5

	1	2
8	6	3
7	5	4

h=6

6	8	2
1	3	
7	5	4

h=11

1	6	2
7	8	3
	5	4

h=8

1	6	2
8	3	
7	5	4

h=7

1	2	
8	6	3
7	5	4

h=4

6	8	2
1	5	3
7		4

h=11

1	6	2
8	5	3
7		4

h=7



1	6	2
8		3
7	5	4

h=6

1		2
8	6	3
7	5	4

h=5

1	2	
8	6	3
7	5	4

h=4

1	2	3
8	6	
7	5	4

h=3

1	2	3
8		4
7	6	5

h=0

	1	2
8	6	3
7	5	4

h=6

1	2	3
8	6	
7	5	4

h=3

1	2	3
8		6
7	5	4

h=4

1	2	3
8	6	4
7		5

h=1

1	2	3
8	6	4
	7	5

h=2

1	2	
8	6	3
7	5	4

h=4

1	2	3
8	6	4
7	5	

h=2

1	2	3
8	6	4
7	5	

h=2



Αναδρομική αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

- Recursive best-first search (RBFS)
- Σε κάθε κόμβο που επιλέγει να επεκτείνει, θυμάται την καλύτερη τιμή f των γειτονικών του κόμβων.
- Εάν δεν υπάρχει παιδί με τιμή f καλύτερη του βέλτιστου γειτονικού κόμβου, η αναζήτηση συνεχίζει από τον βέλτιστο γειτονικό, ενημερώνοντας τον τρέχοντα κόμβο με την τιμή του καλύτερου παιδιού του.
- Γραμμικές απαιτήσεις σε μνήμη.
- Δεν ανιχνεύει επαναλαμβανόμενες καταστάσεις.



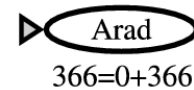
Αναζήτηση A^* (1/3)

- $f(n)=g(n)+h(n)$
- Παραδεκτός (admissible) ευρετικός μηχανισμός $h(n)$: Δεν κάνει υπερκτιμήσεις.
 - π.χ. h_{SLD}
- Η αναζήτηση A^* χωρίς κλάδεμα επαναλαμβανόμενων καταστάσεων είναι βέλτιστη αν η $h(n)$ είναι παραδεκτή.

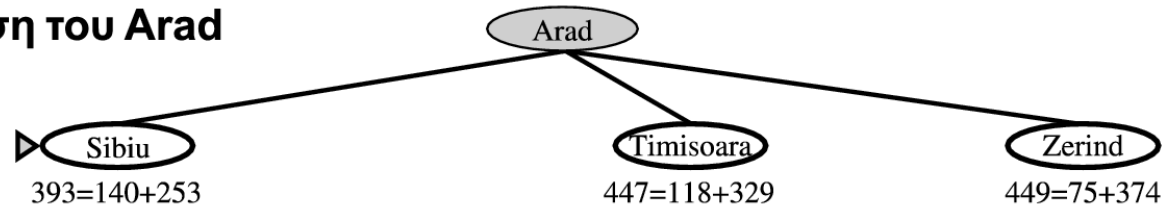


Αναζήτηση A* (2/3)

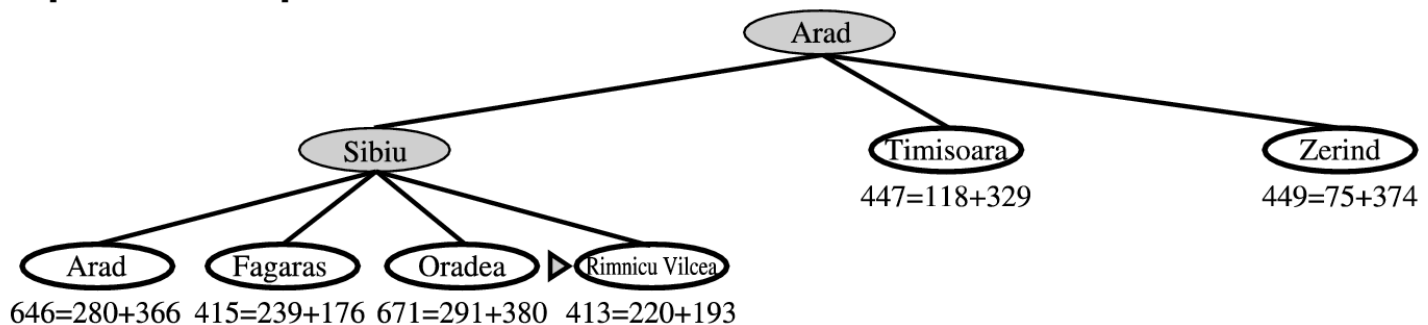
(α) Η αρχική κατάσταση



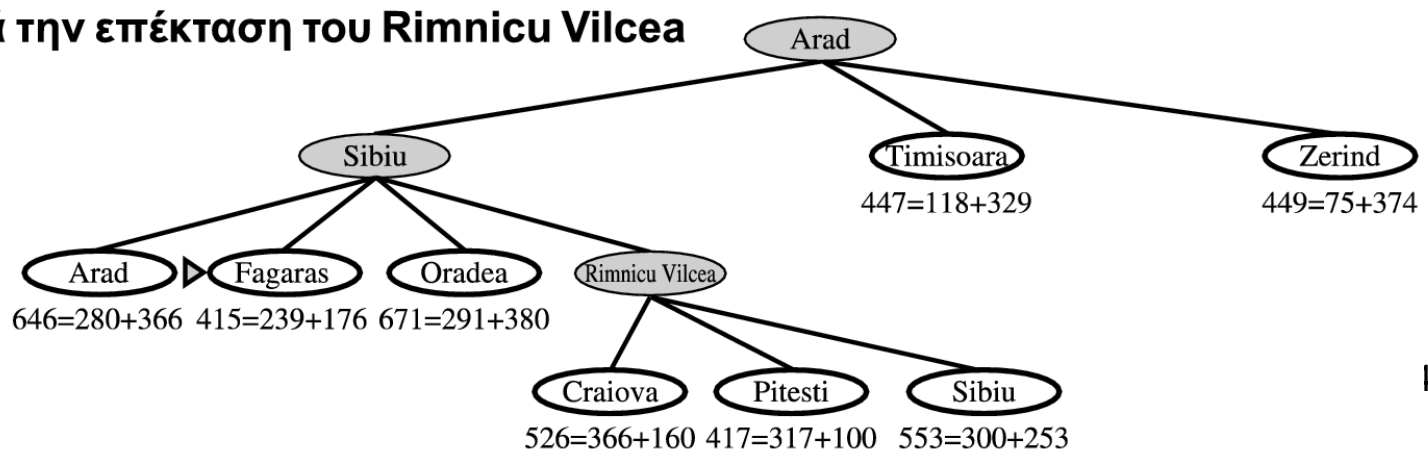
(β) Μετά την επέκταση του Arad



(γ) Μετά την επέκταση του Sibiu

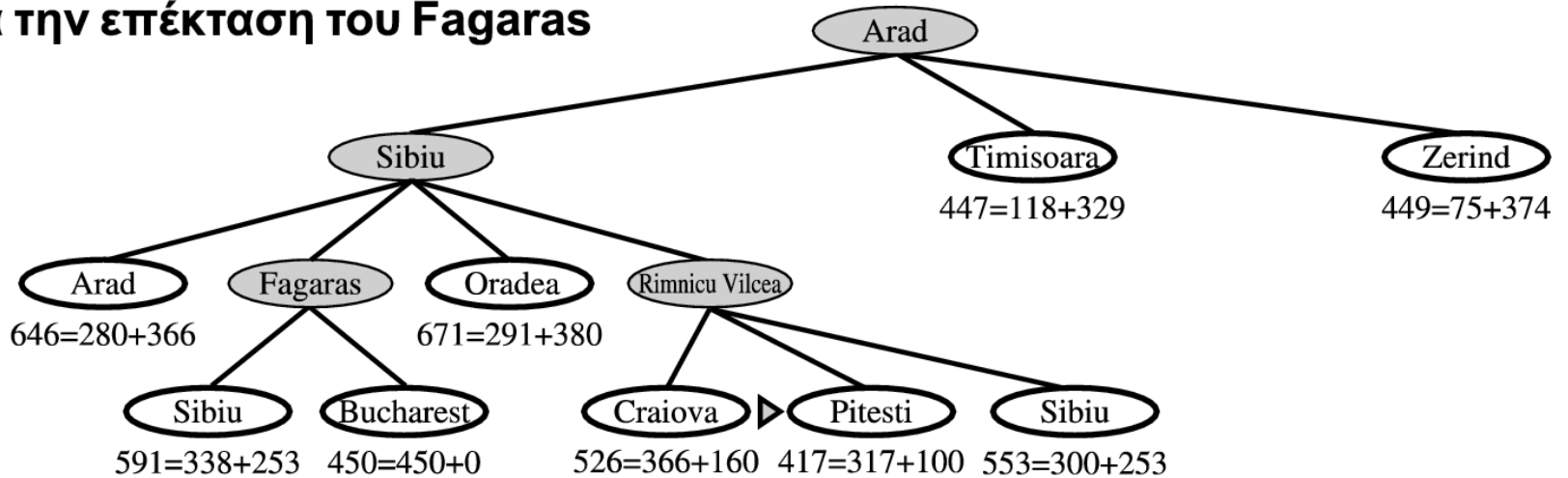


(δ) Μετά την επέκταση του Rimnicu Vilcea

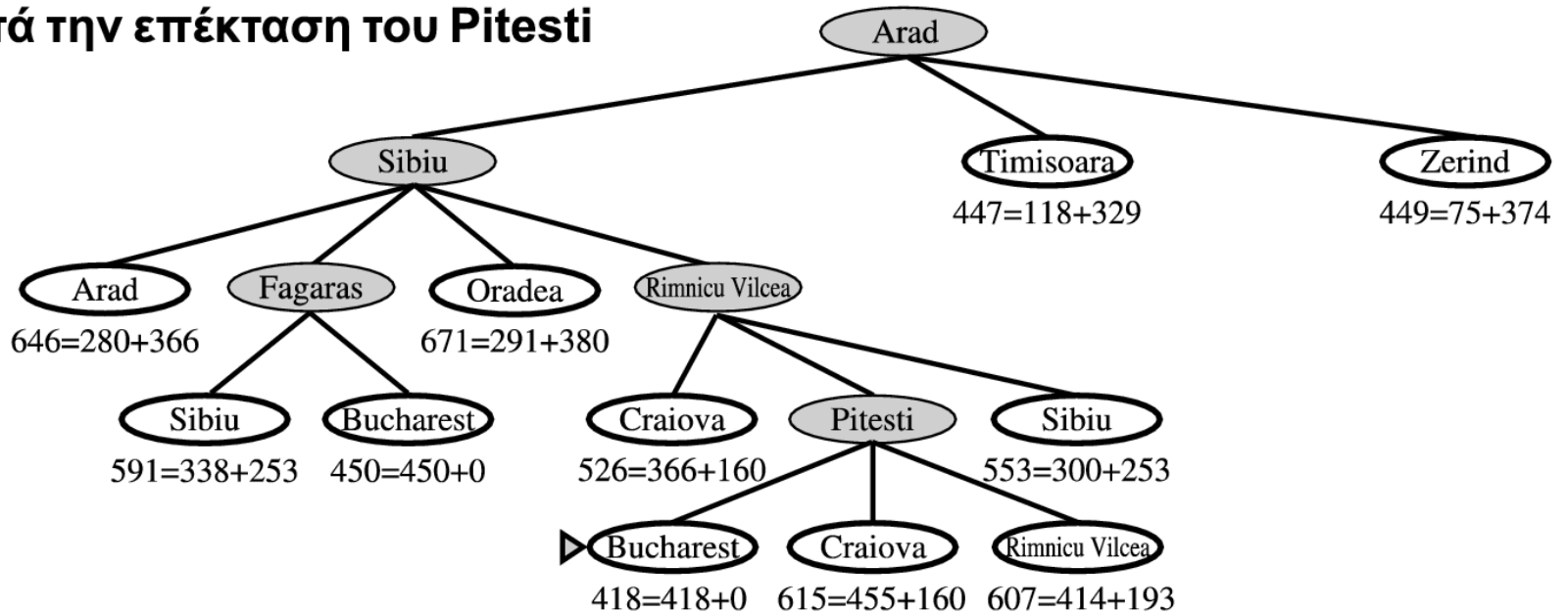


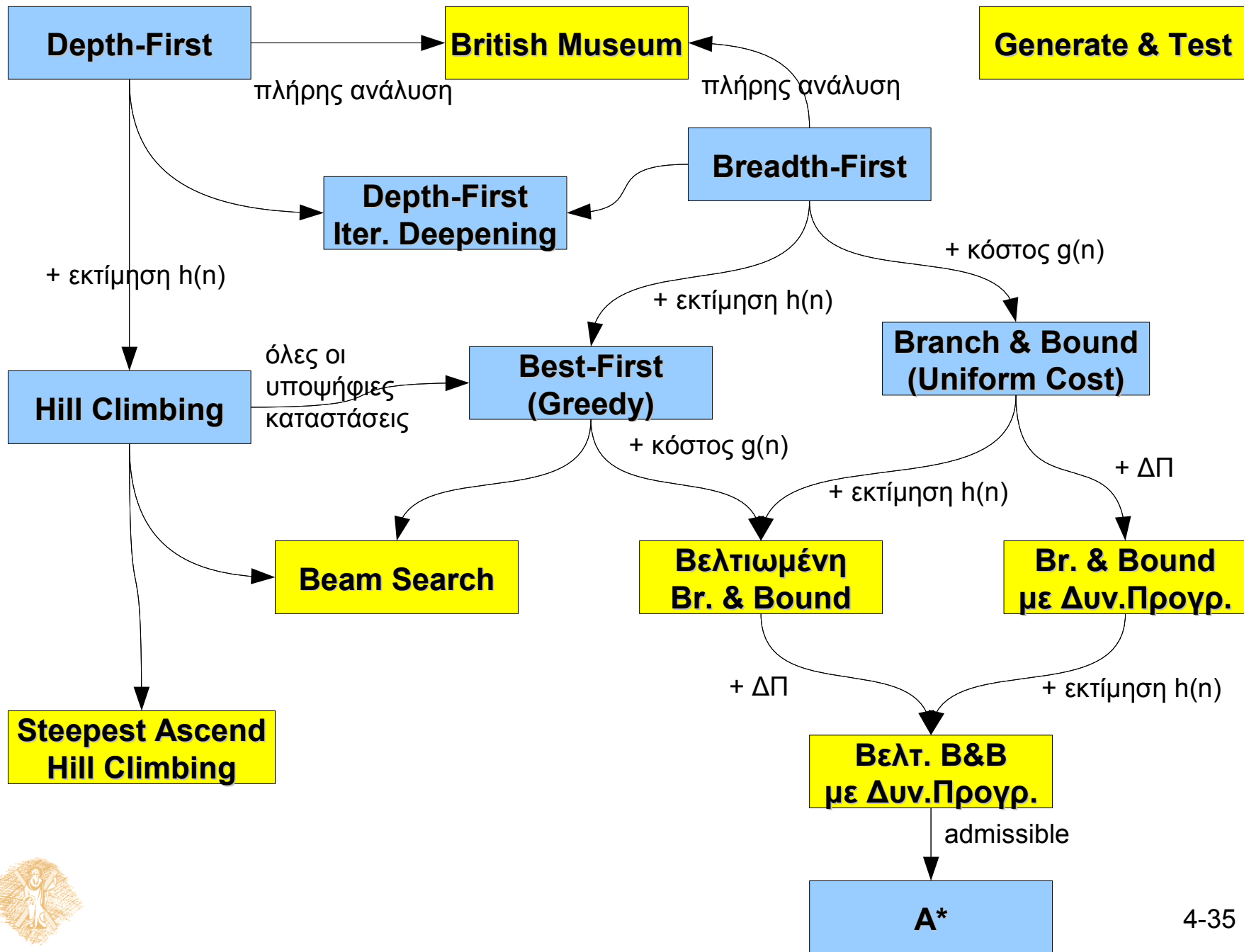
Αναζήτηση A* (3/3)

(ε) Μετά την επέκταση του Fagaras



(στ) Μετά την επέκταση του Pitesti





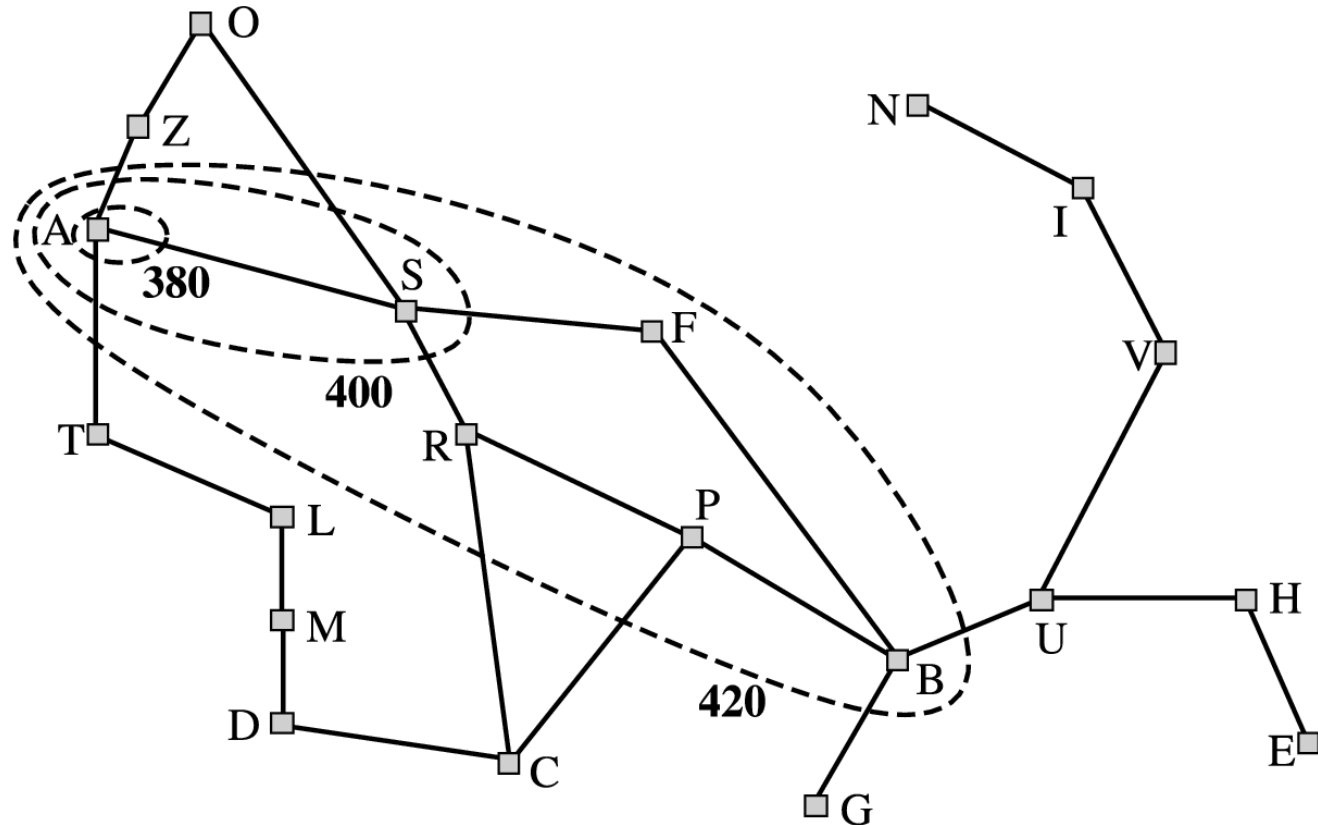
Συνεπείς ευρετικές συναρτήσεις

- Μια ευρετική συνάρτηση λέγεται συνεπής (consistent) ή μονοτονική, εάν ισχύει:
 - $h(n) \leq c(n, a, n') + h(n')$ (τριγωνική ανισότητα)
- Η αναζήτηση A^* με κλάδεμα επαναλαμβανόμενων καταστάσεων, είναι βέλτιστη αν η $h(n)$ είναι συνεπής.
- Μια συνεπής ευρετική συνάρτηση είναι και παραδεκτή.
- Οι περισσότερες παραδεκτές ευρετικές συναρτήσεις είναι και συνεπείς (π.χ. h_{SLD})



Ισοϋψείς καμπύλες

- Αν η $h(n)$ είναι συνεπής, τότε οι τιμές της $f(n)$ πάνω σε οποιαδήποτε διαδρομή είναι μη φθίνουσες.
 - Ισοϋψείς καμπύλες



Αποδοτικότητα A^*

- Βέλτιστος και πλήρης
- Βέλτιστα αποδοτικός: Εξερευνά τις λιγότερες καταστάσεις από όλους τους βέλτιστους και πλήρεις αλγορίθμους.
- Μεγάλες (εκθετικές) απαιτήσεις σε χρόνο και (κυρίως) σε μνήμη.



Πρακτικές εφαρμογές αναζήτησης

- Ταυτοποίηση εικόνας (2D-3D feature space, μετατόπιση, περιστροφή, κλιμάκωση)
- Παρακολούθηση κίνησης (tracking)



AR ταυτοποίηση



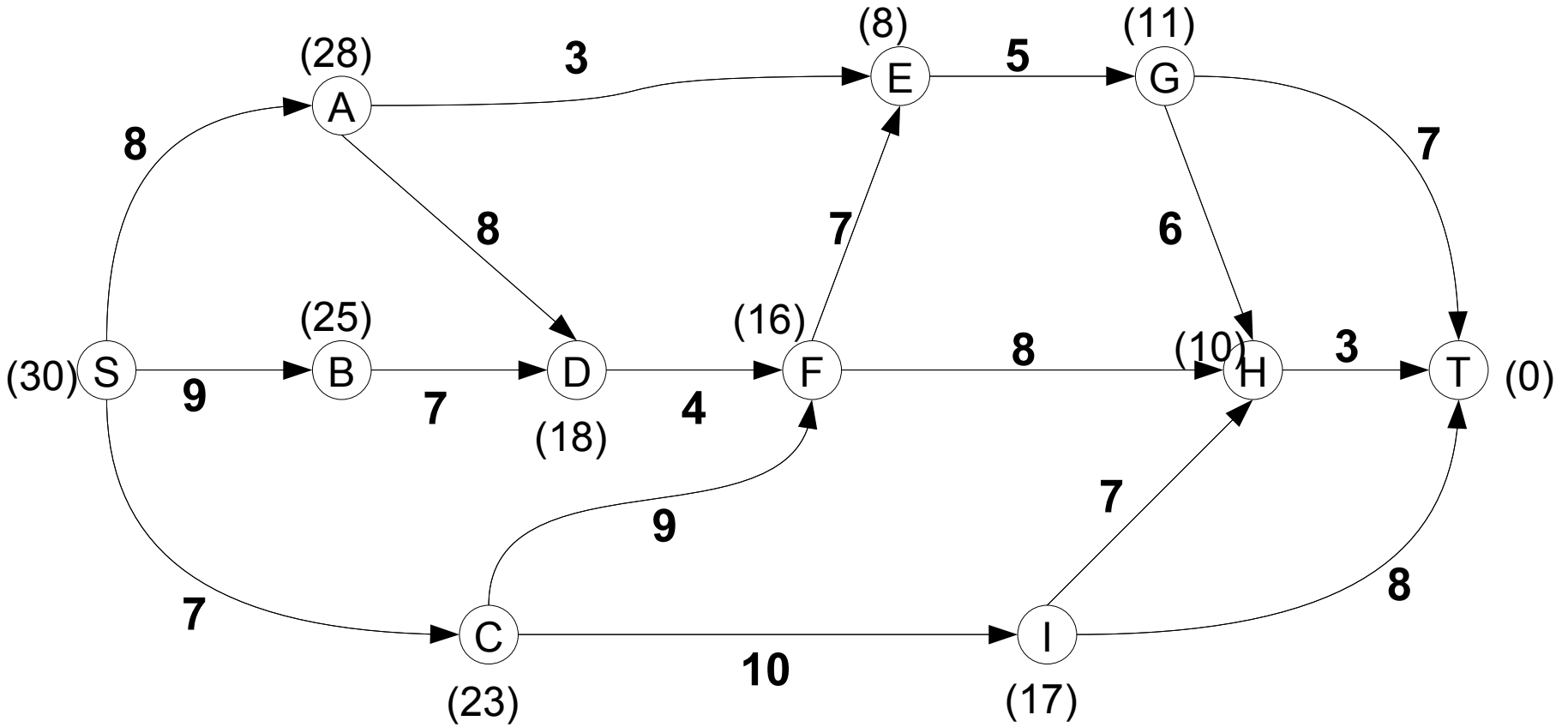
AR ταυτοποίηση



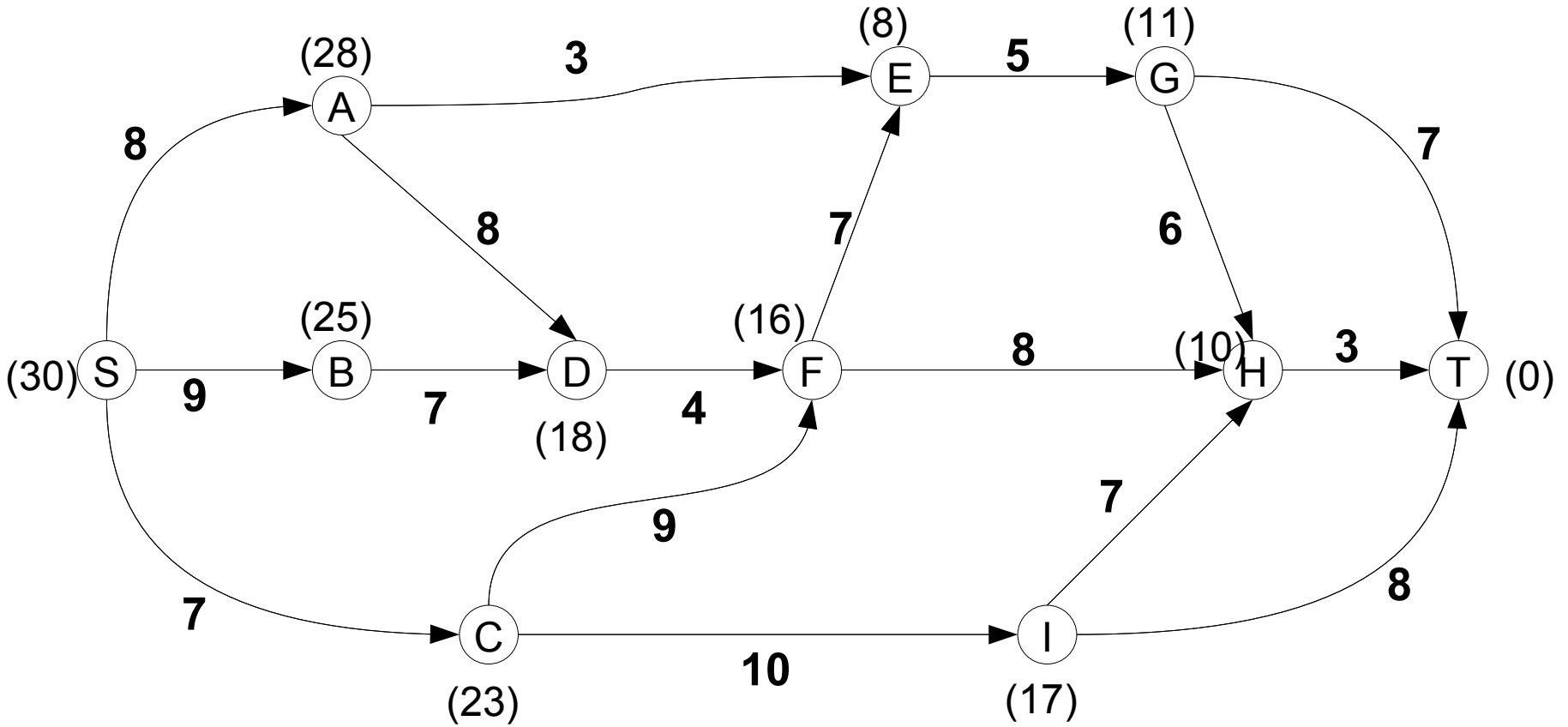
Tracking



Παράδειγμα



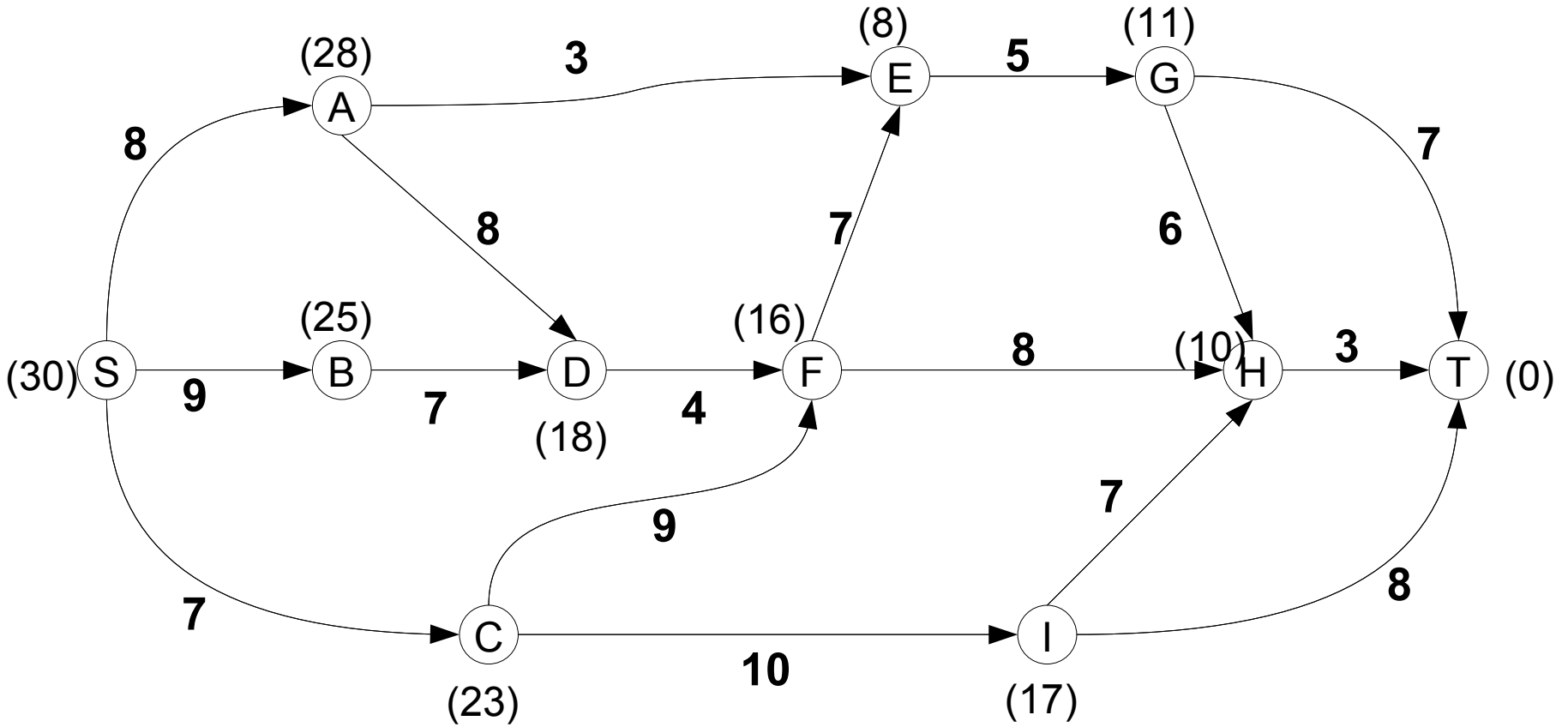
Depth-First



Τρέχουσα = S
Σύνολο = []



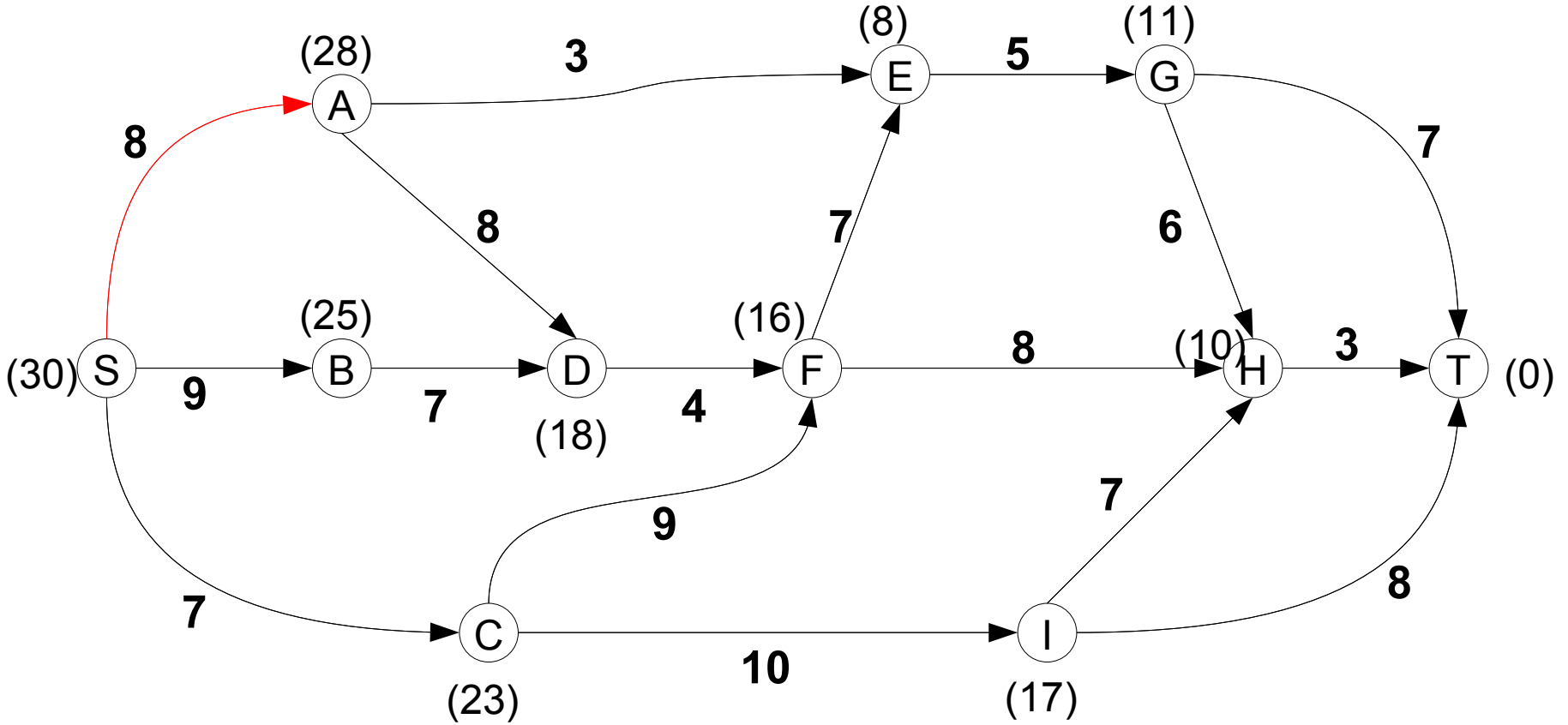
Depth-First



Τρέχουσα = S
Σύνολο = [A,B,C]



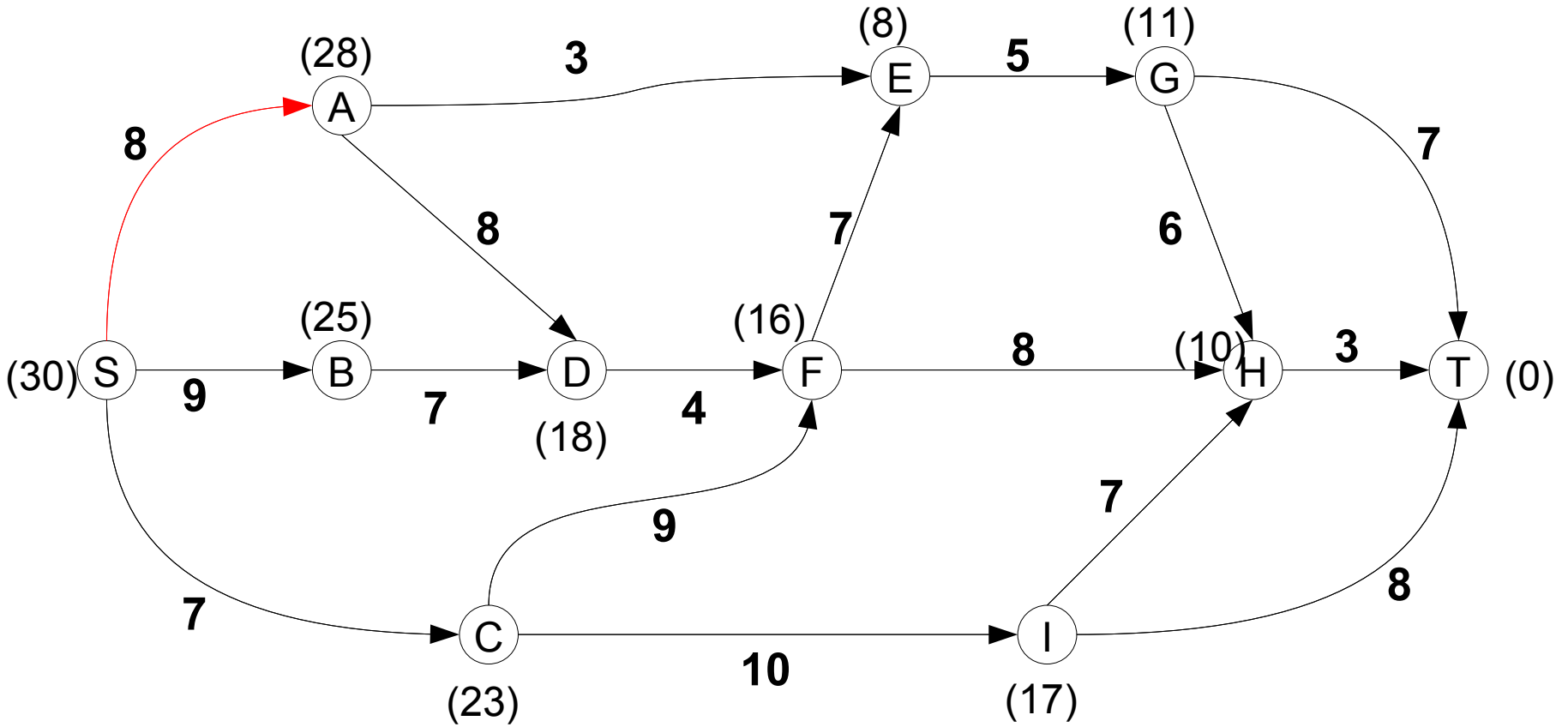
Depth-First



Τρέχουσα = A
Σύνολο = [B,C]



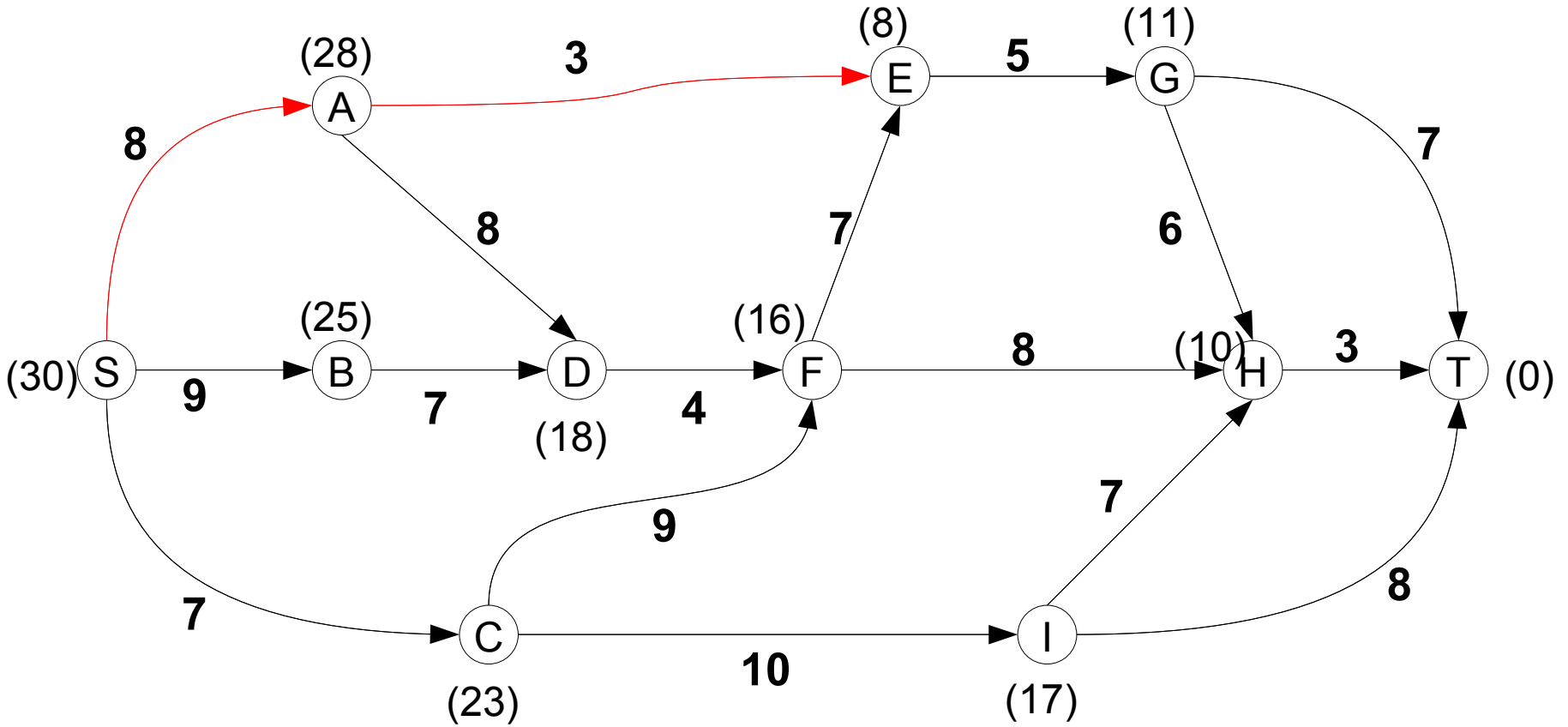
Depth-First



Τρέχουσα = A
Σύνολο = [E,D,B,C]



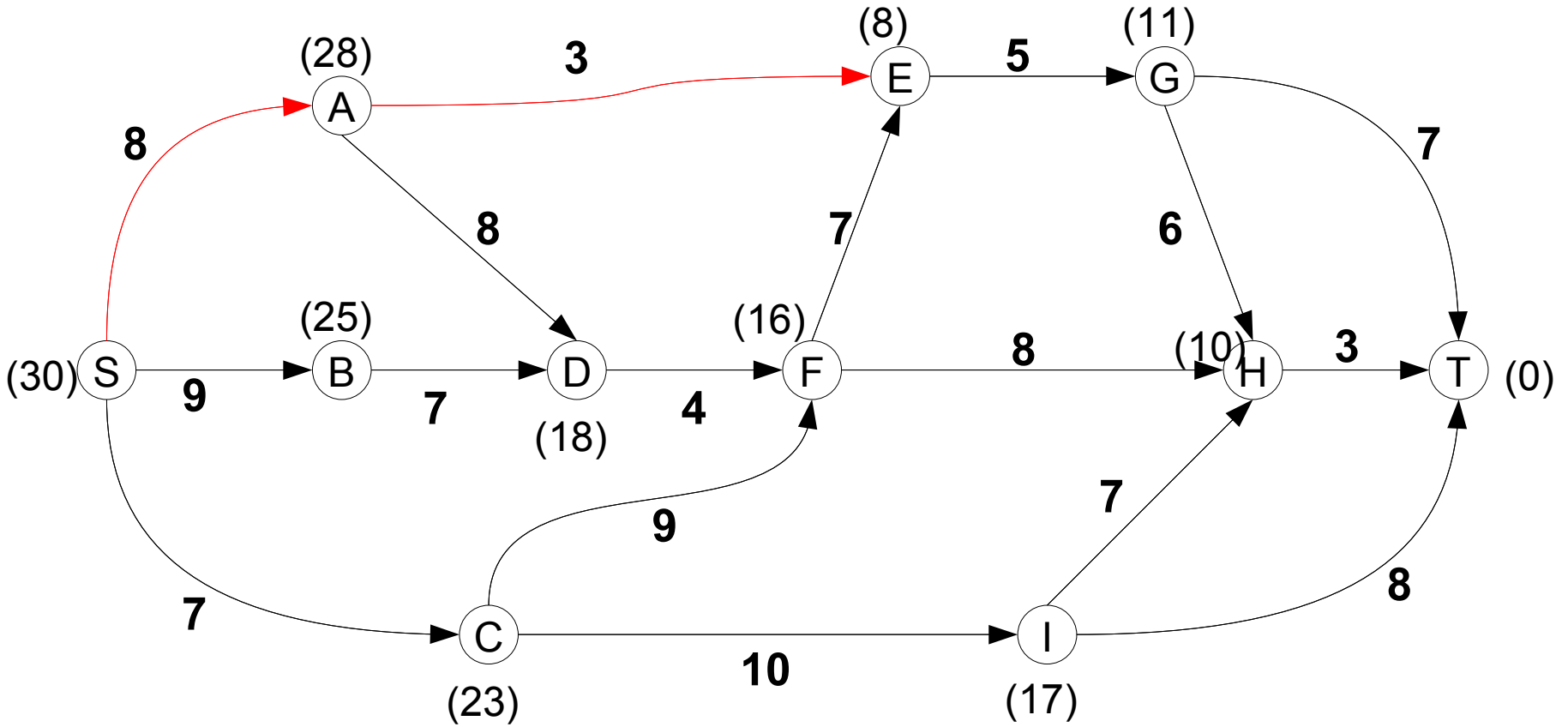
Depth-First



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [D,B,C]



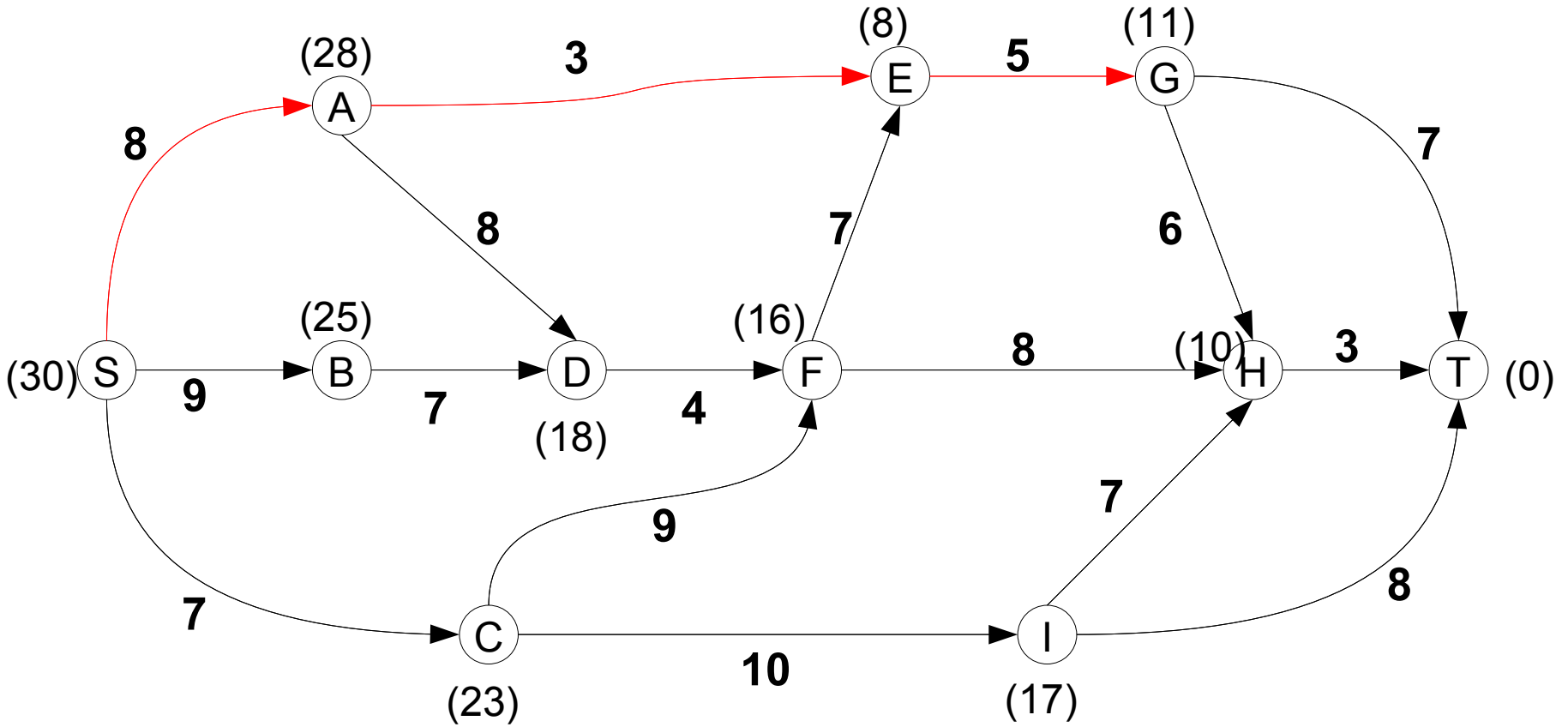
Depth-First



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [G,D,B,C]



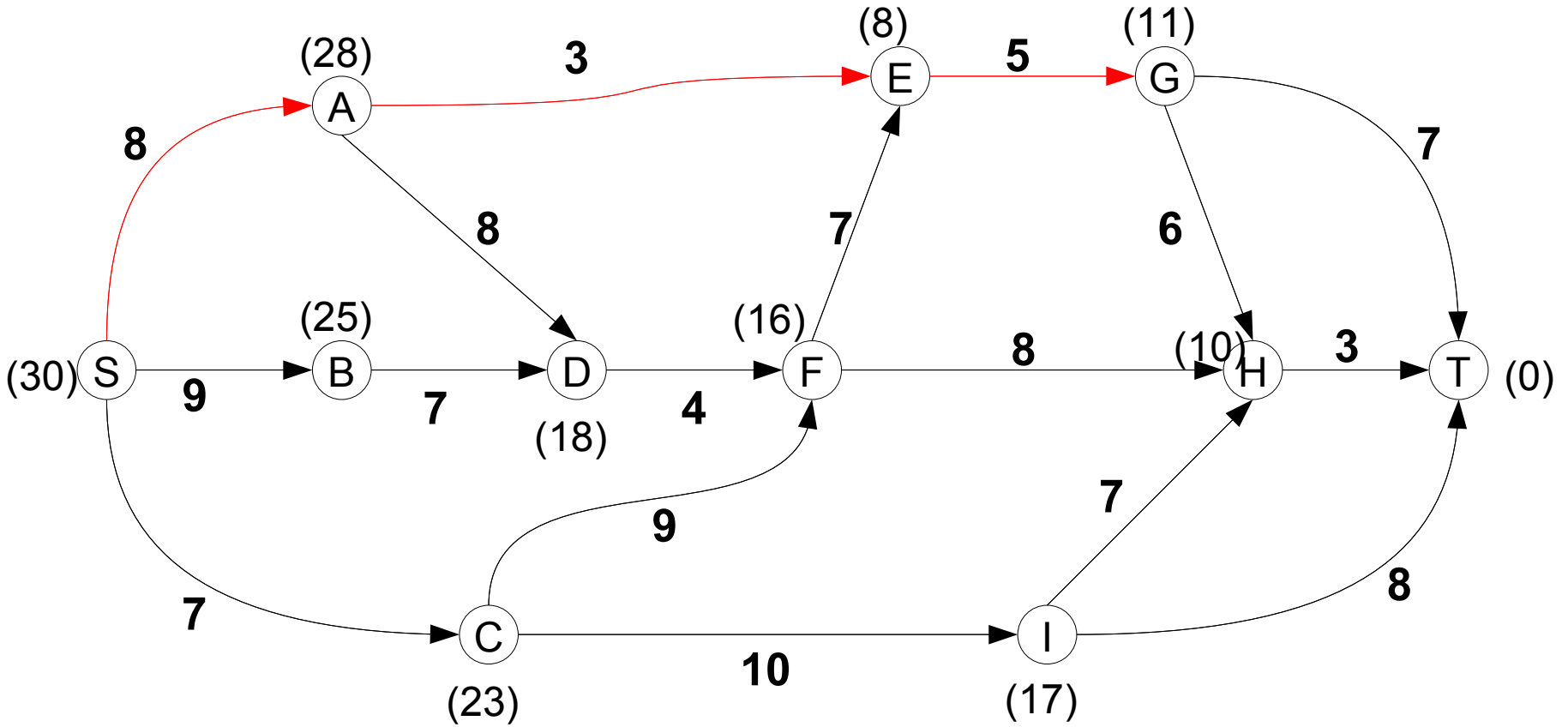
Depth-First



Τρέχουσα = G
Σύνολο = [D,B,C]



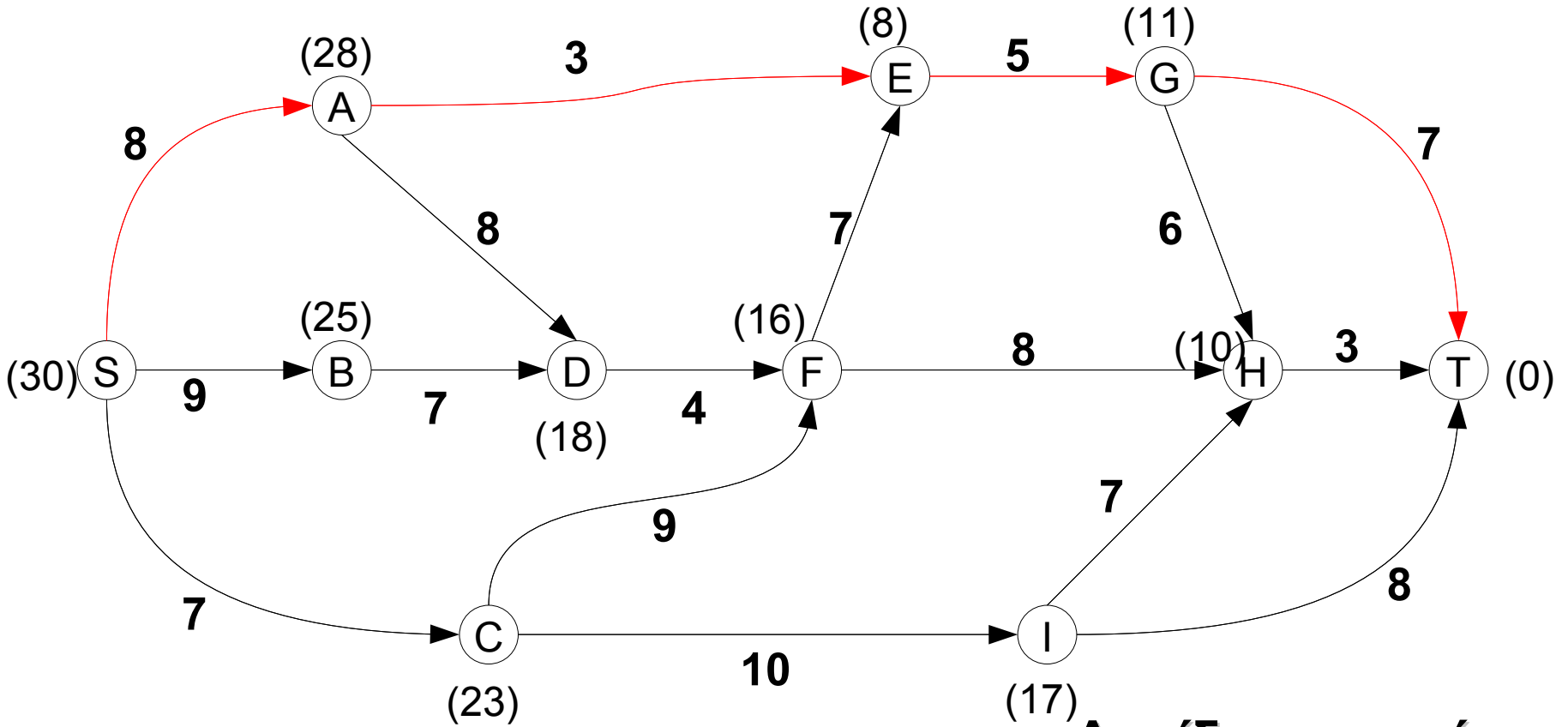
Depth-First



Τρέχουσα = G
Σύνολο = [T,H,D,B,C]



Depth-First



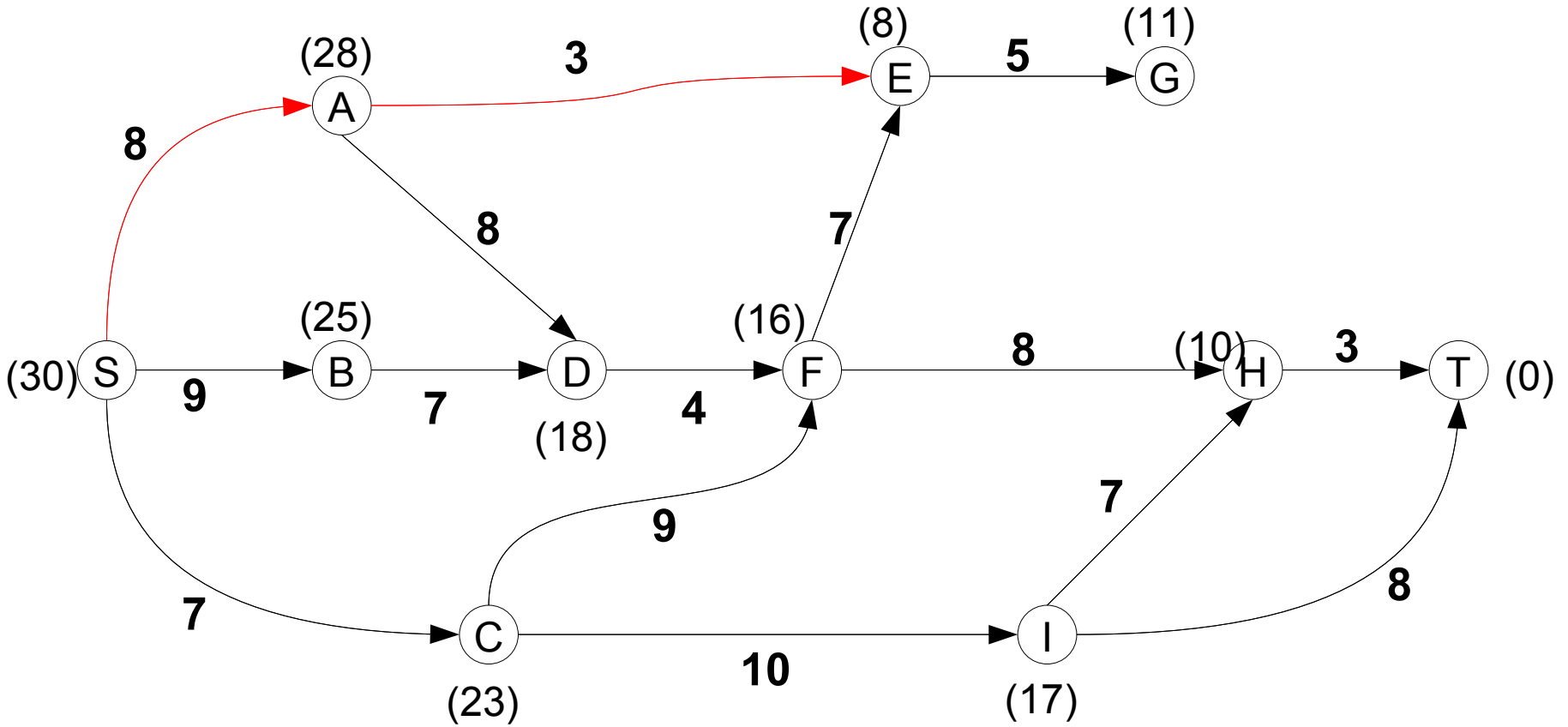
Αμφίδρομος γράφος;

Τρέχουσα = T

Σύνоро = [H,D,B,C]



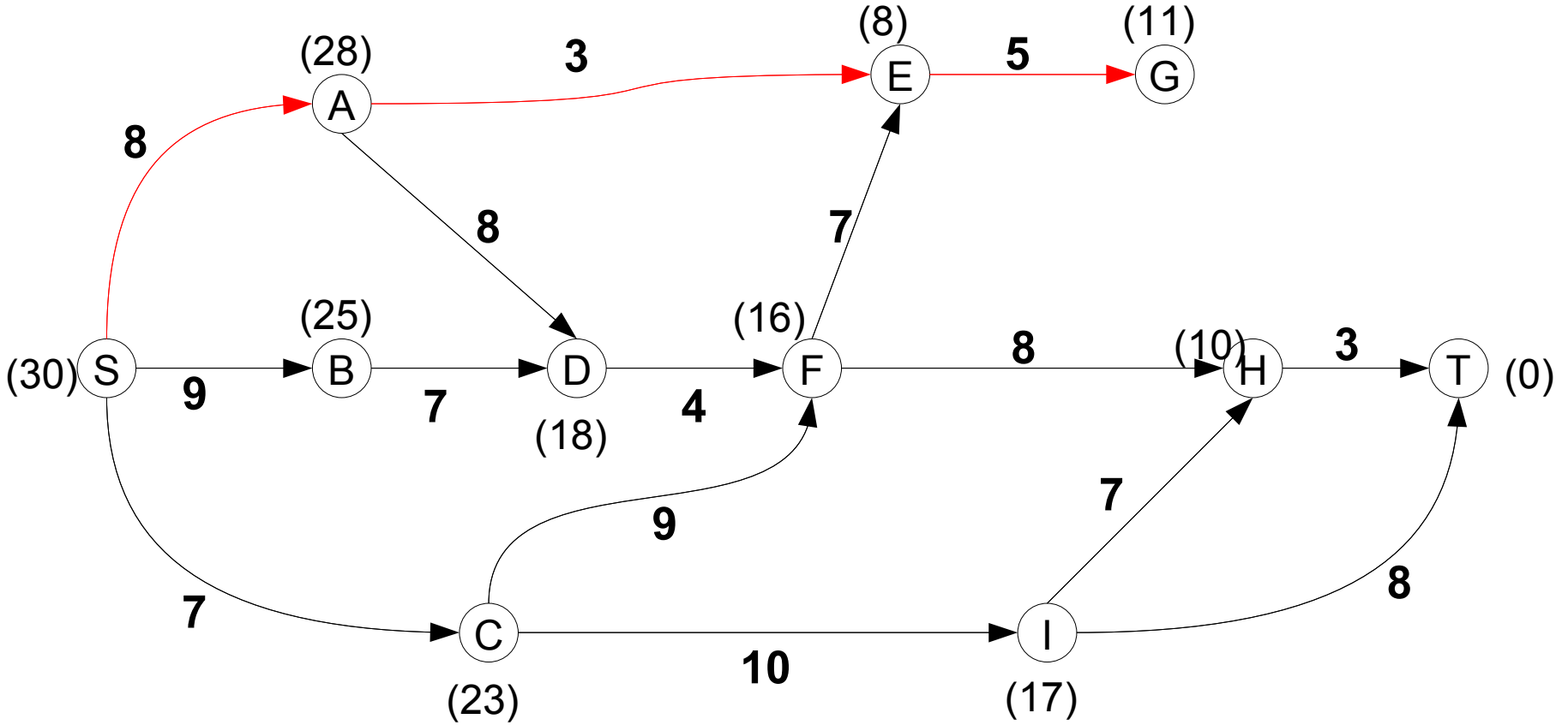
Depth-First (Αδιέξοδο)



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [G,D,B,C]



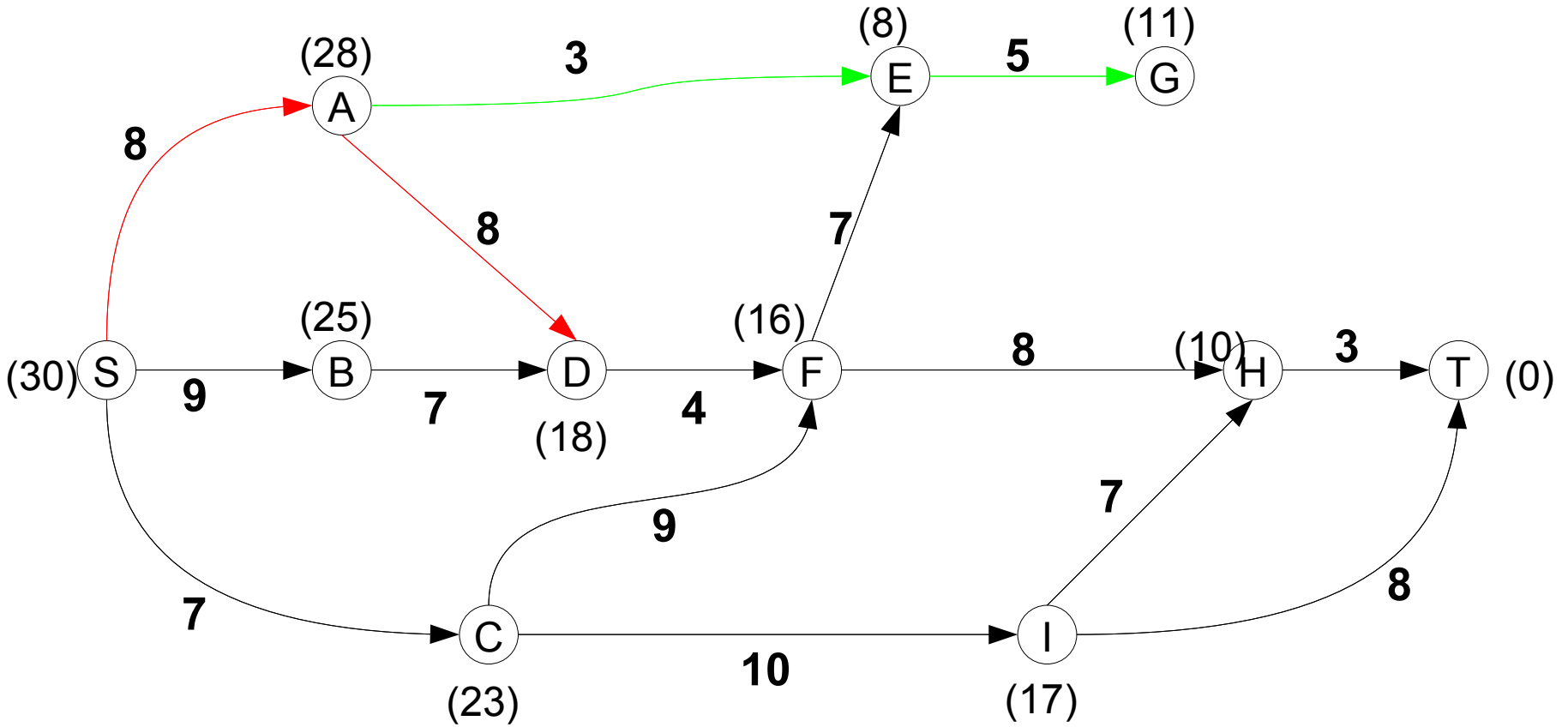
Depth-First



Τρέχουσα = G
Σύνολο = [D,B,C]



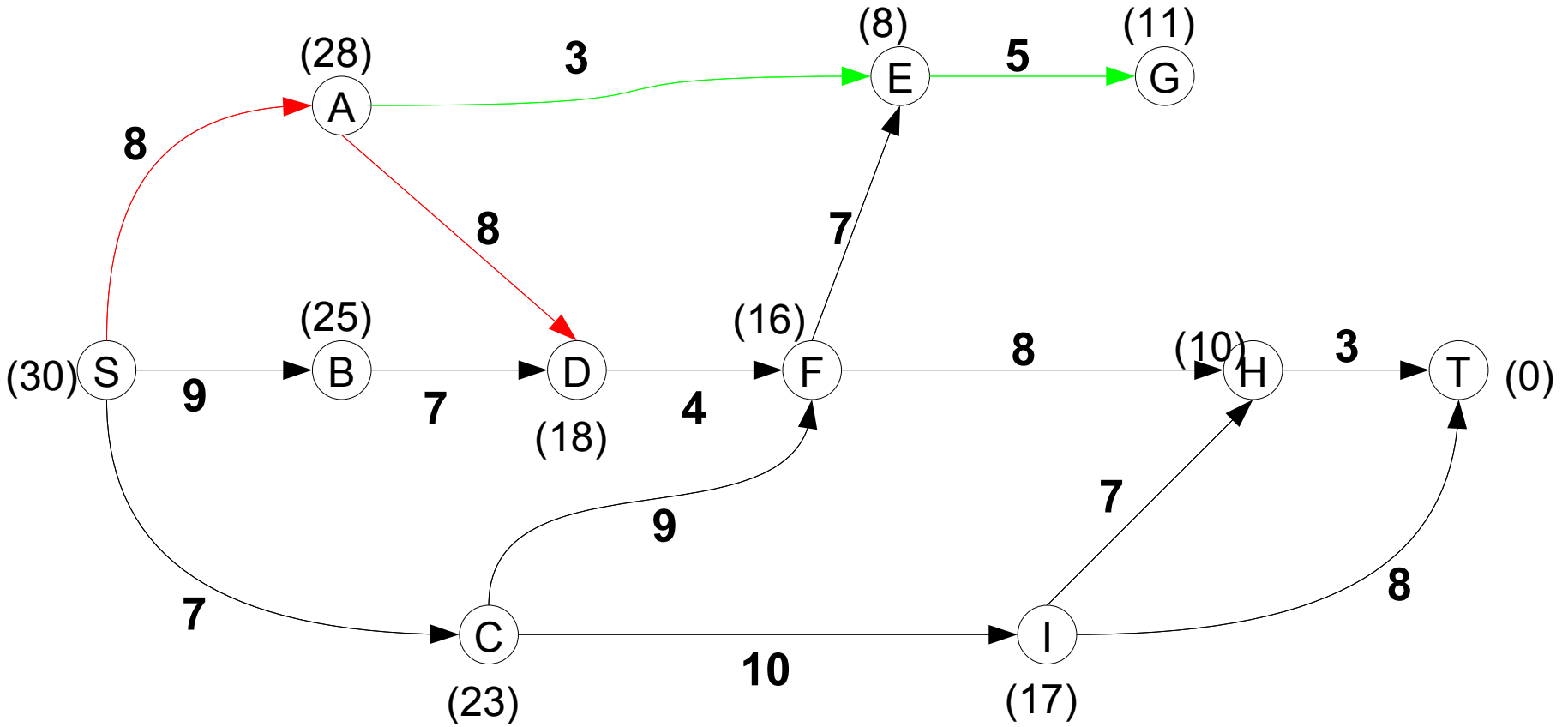
Depth-First



Τρέχουσα = D
Σύνολο = [B,C]



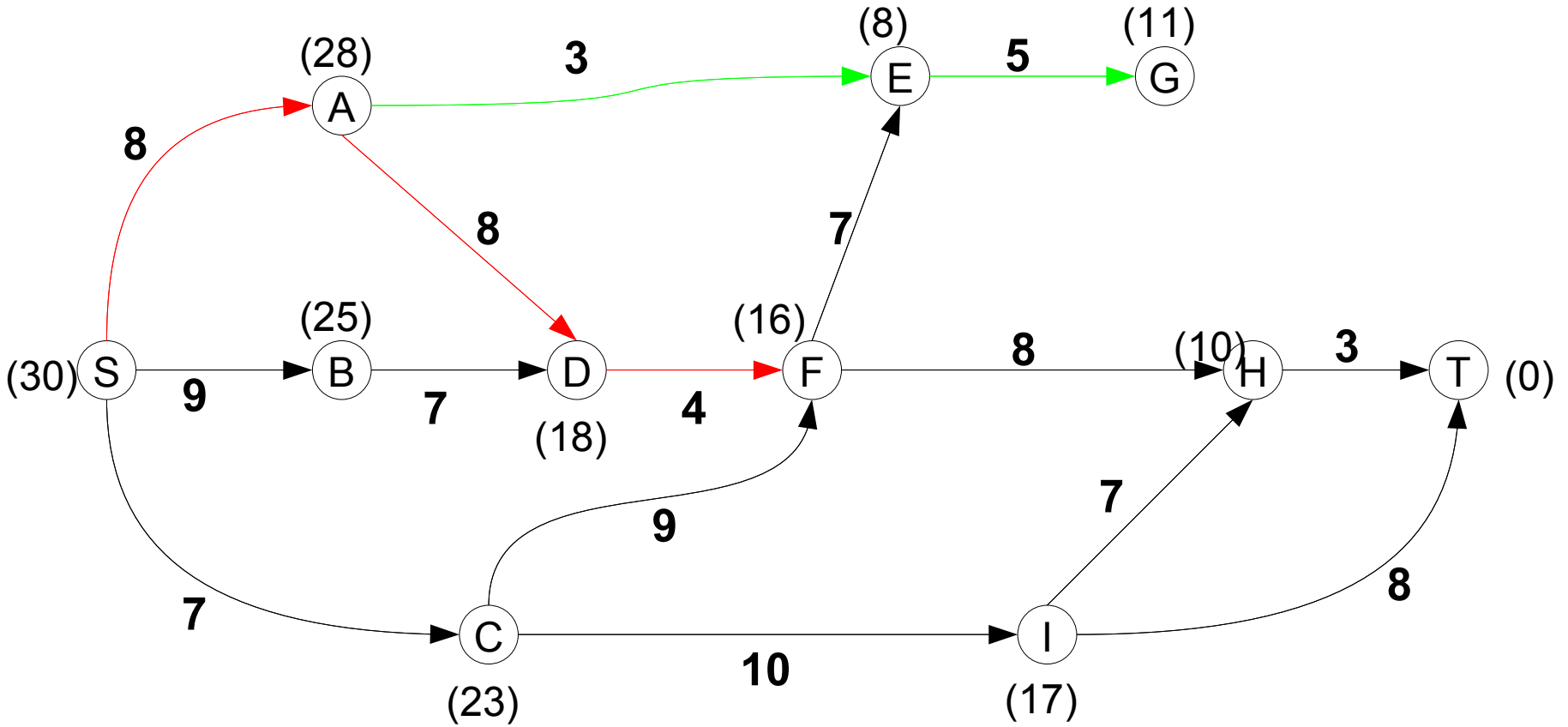
Depth-First



Τρέχουσα = D
Σύνολο = [F,B,C]



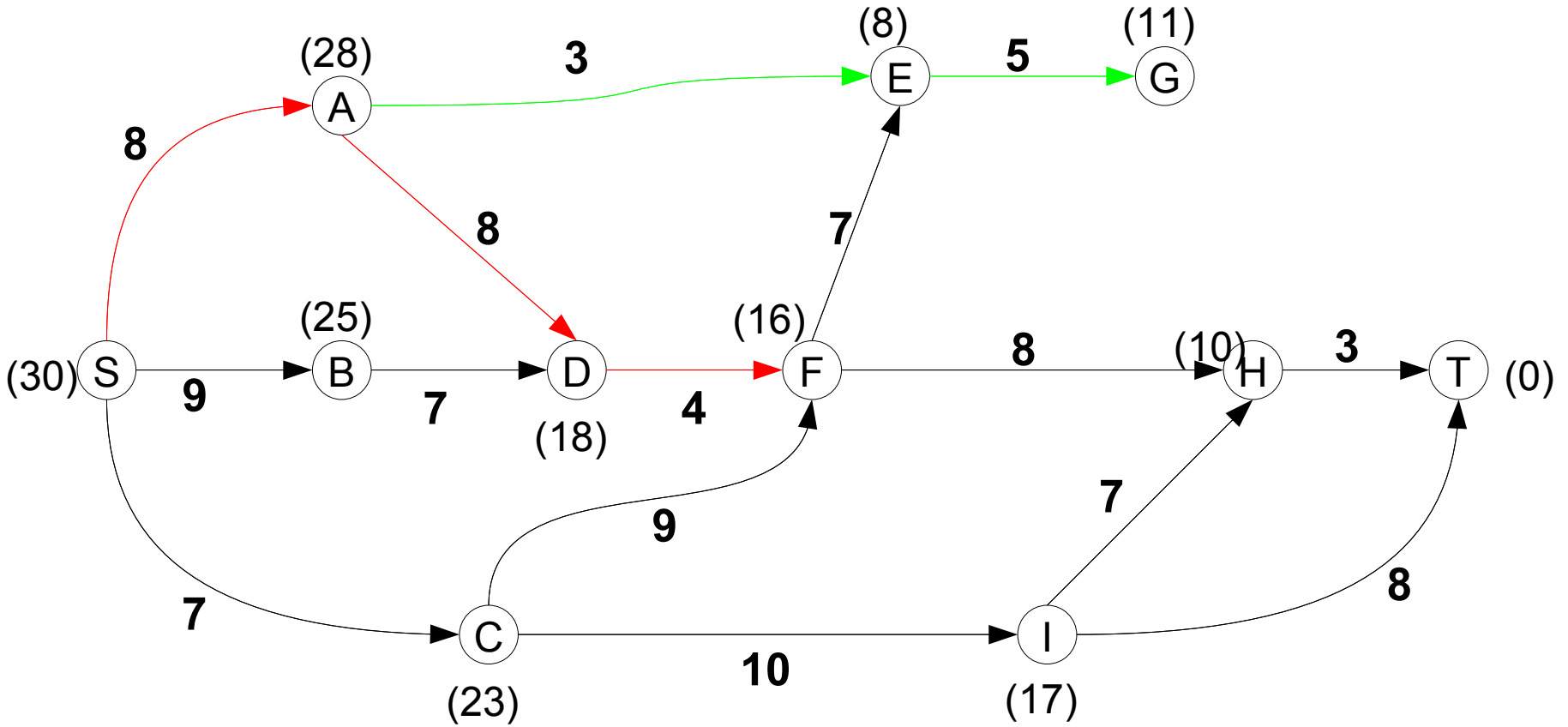
Depth-First



Τρέχουσα = F
Σύνολο = [B,C]



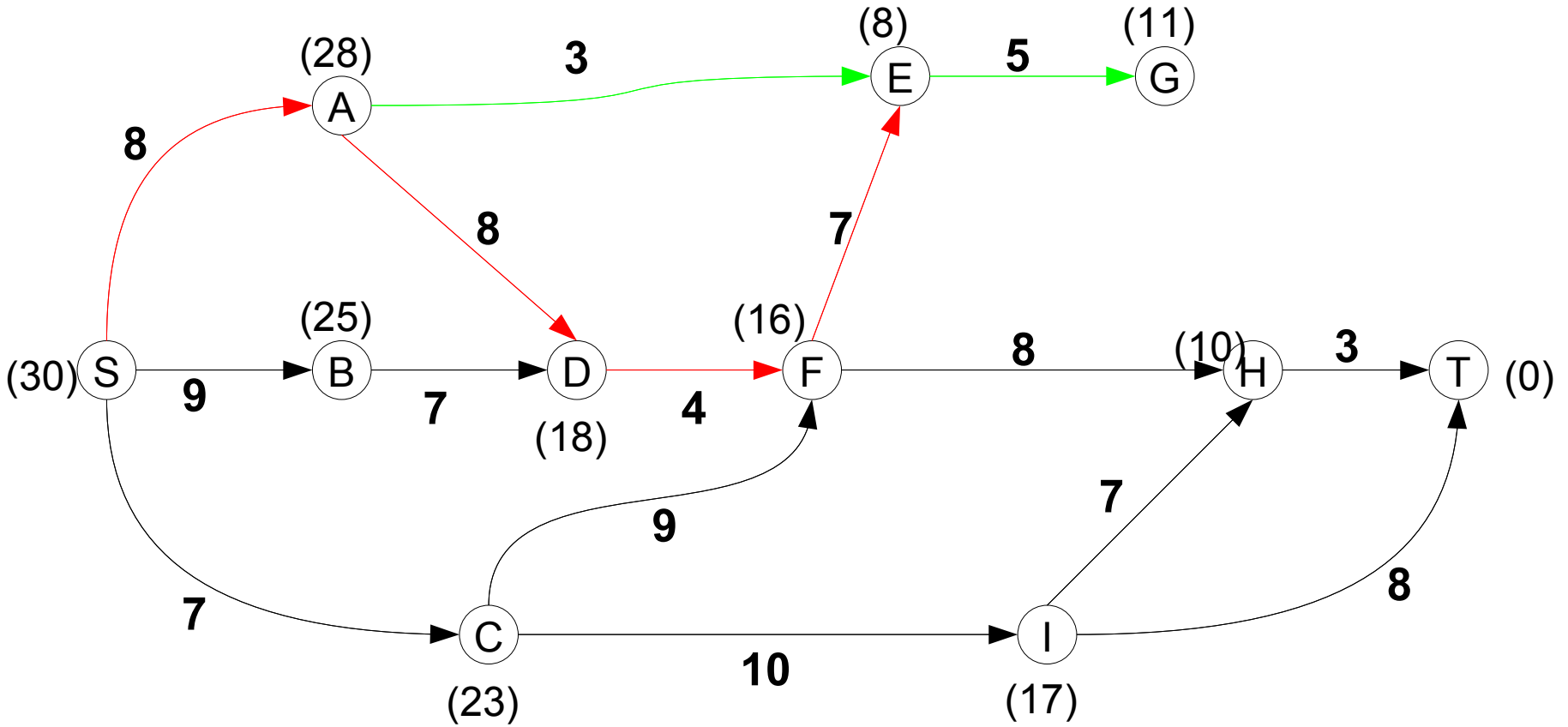
Depth-First



Τρέχουσα = F
Σύνολο = [E,H,B,C]



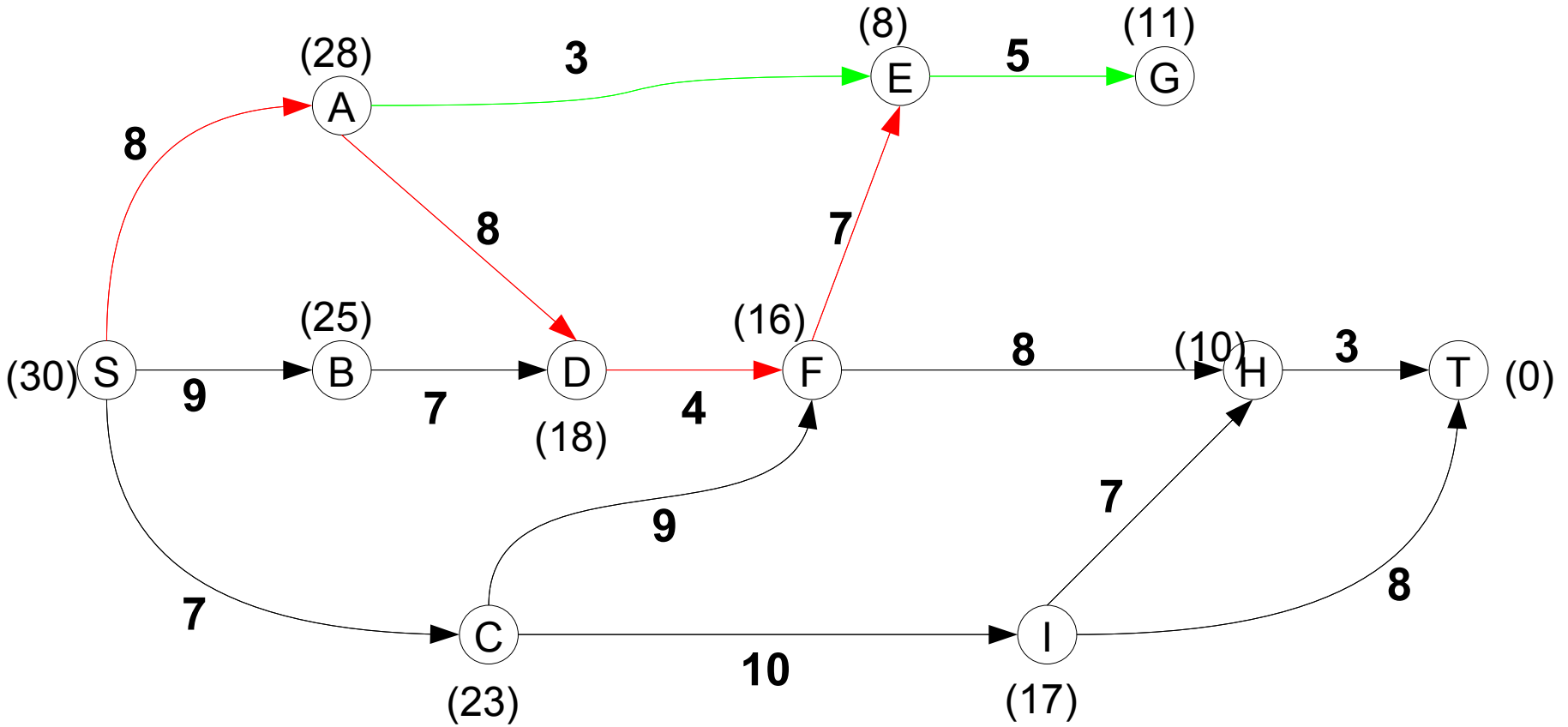
Depth-First



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [H,B,C]



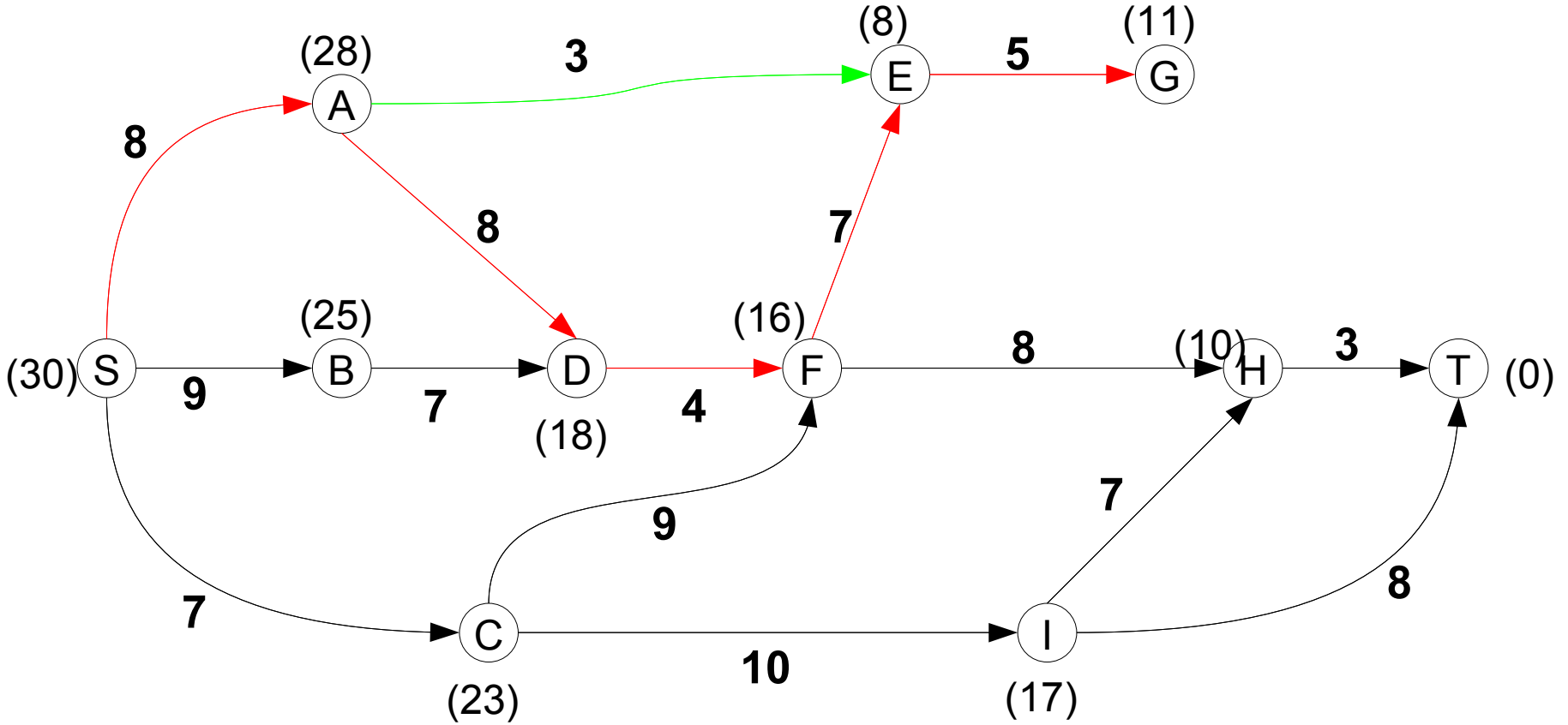
Depth-First



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [G,H,B,C]



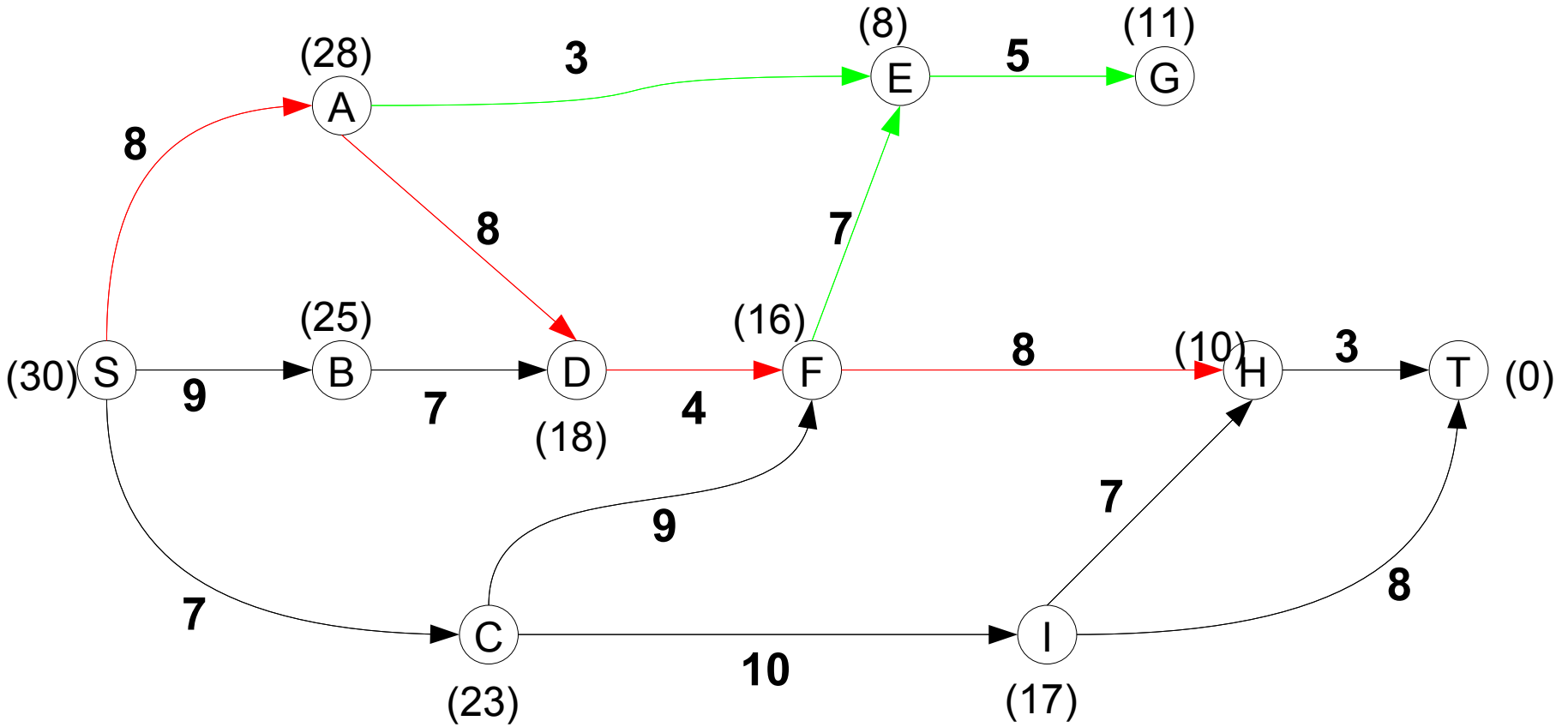
Depth-First



Τρέχουσα = G
Σύνολο = [H,B,C]



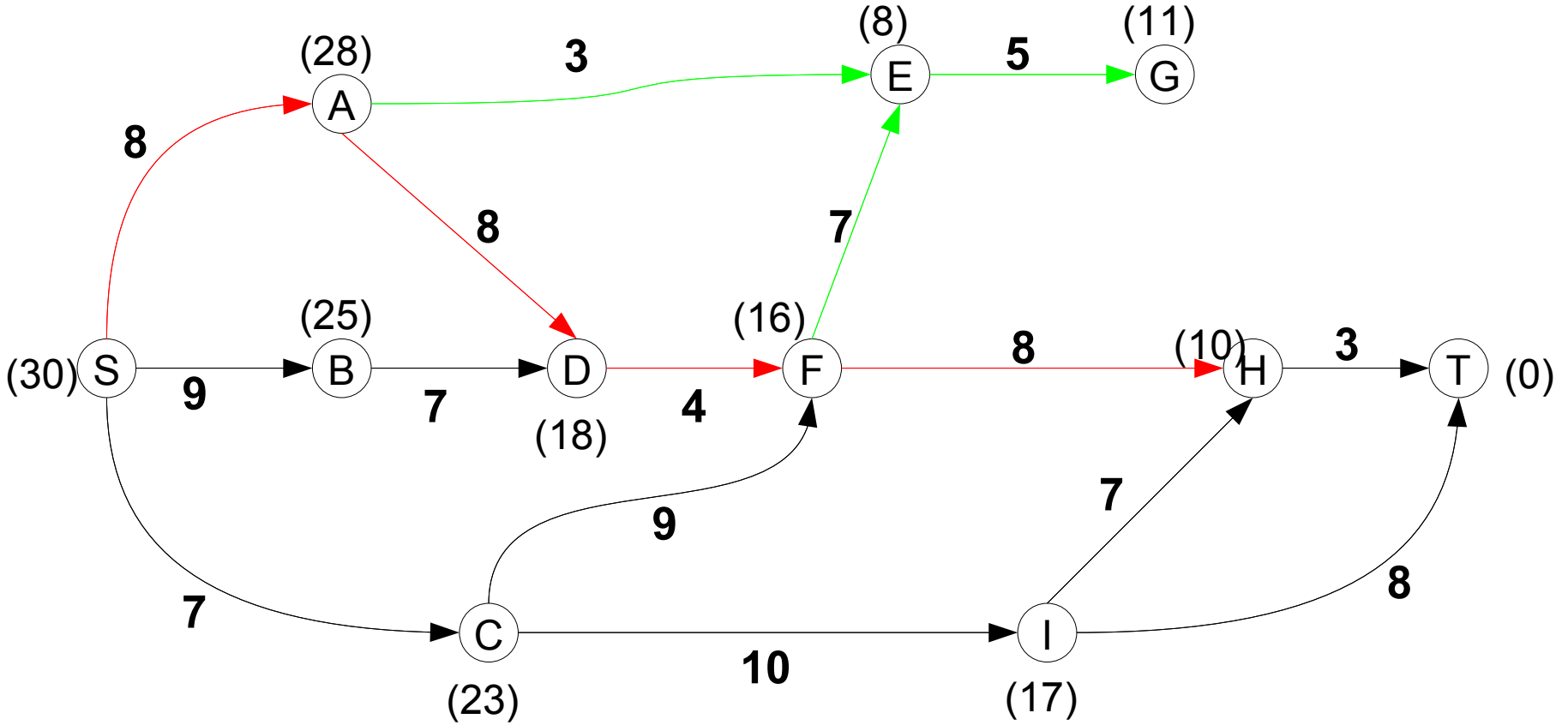
Depth-First



Τρέχουσα = H
Σύνολο = [B,C]



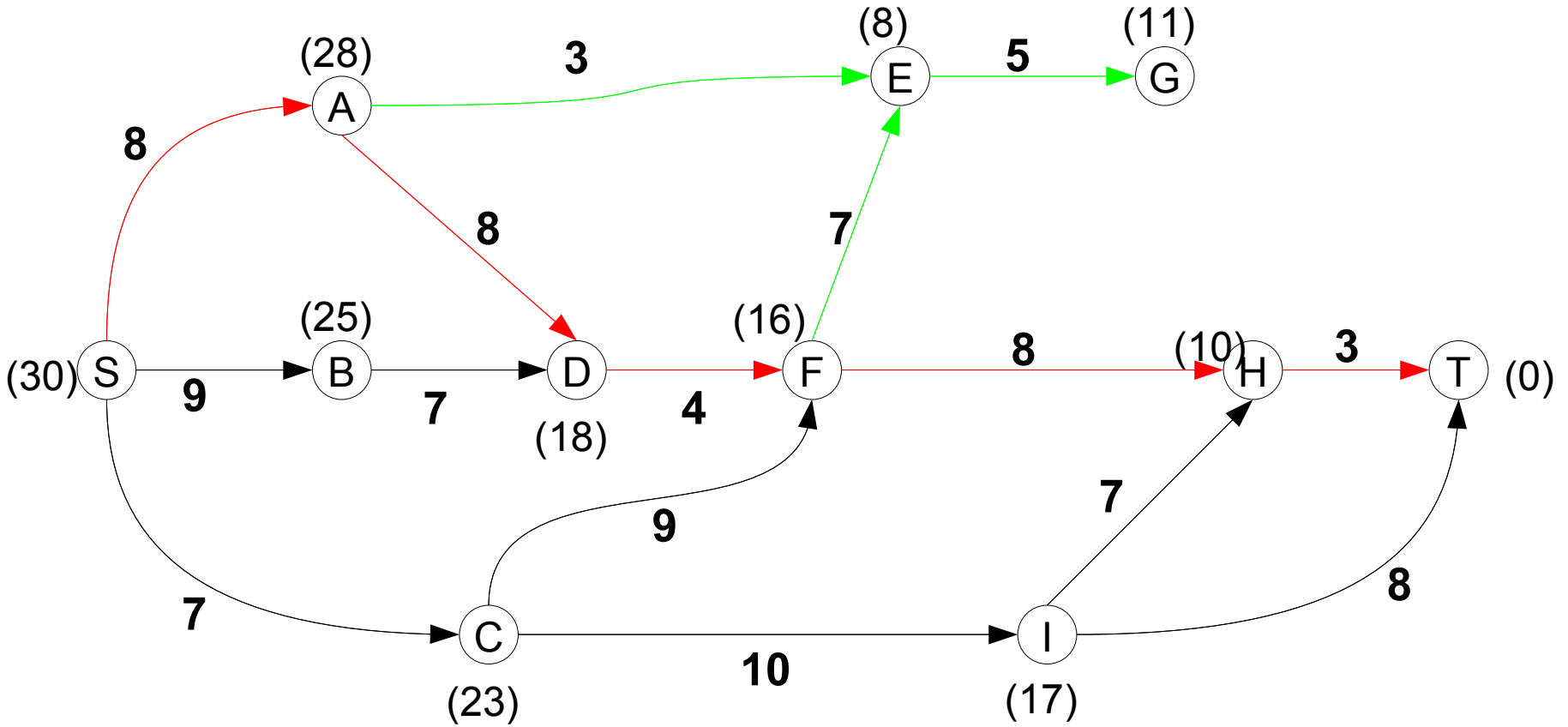
Depth-First



Τρέχουσα = H
Σύνολο = [T, B, C]



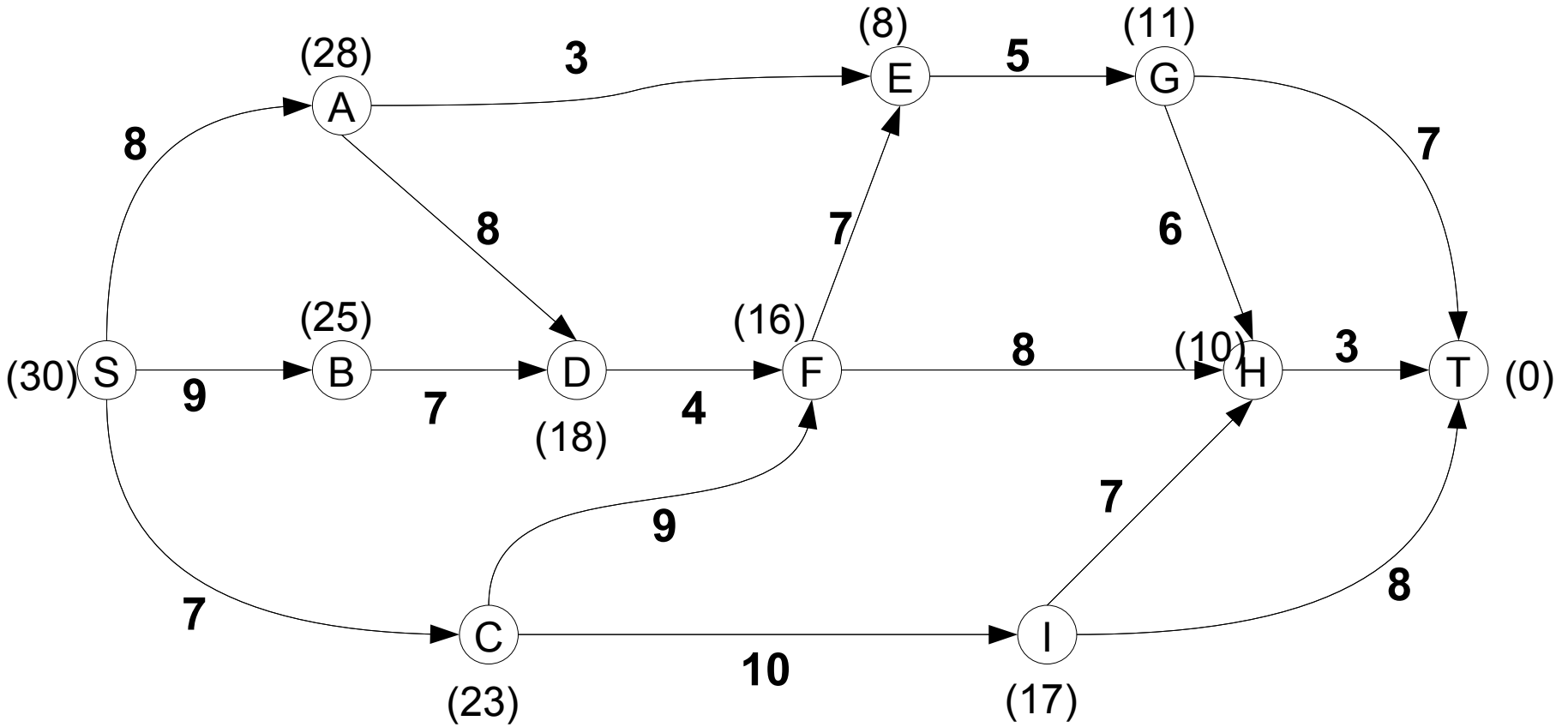
Depth-First



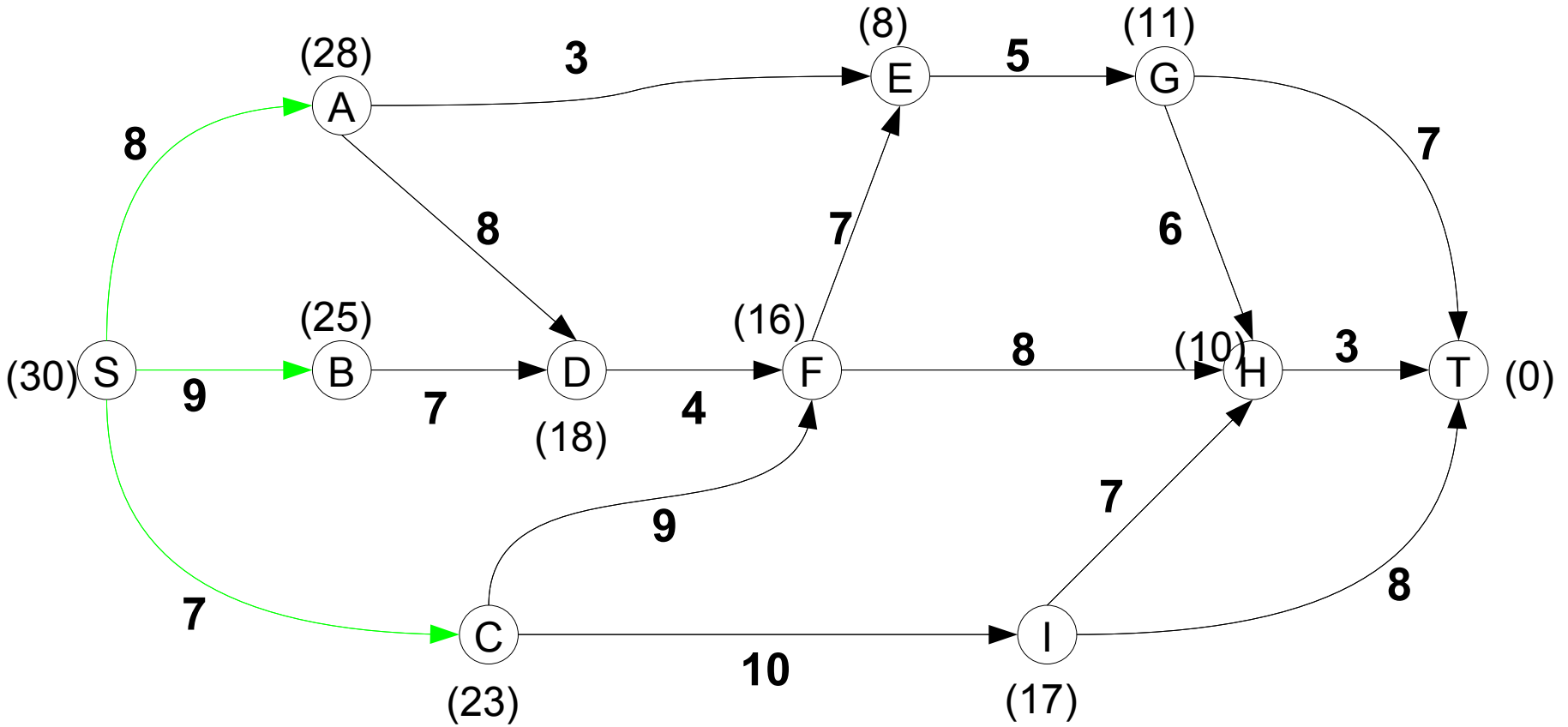
Τρέχουσα = T
Σύνολο = [B,C]



Breadth-First



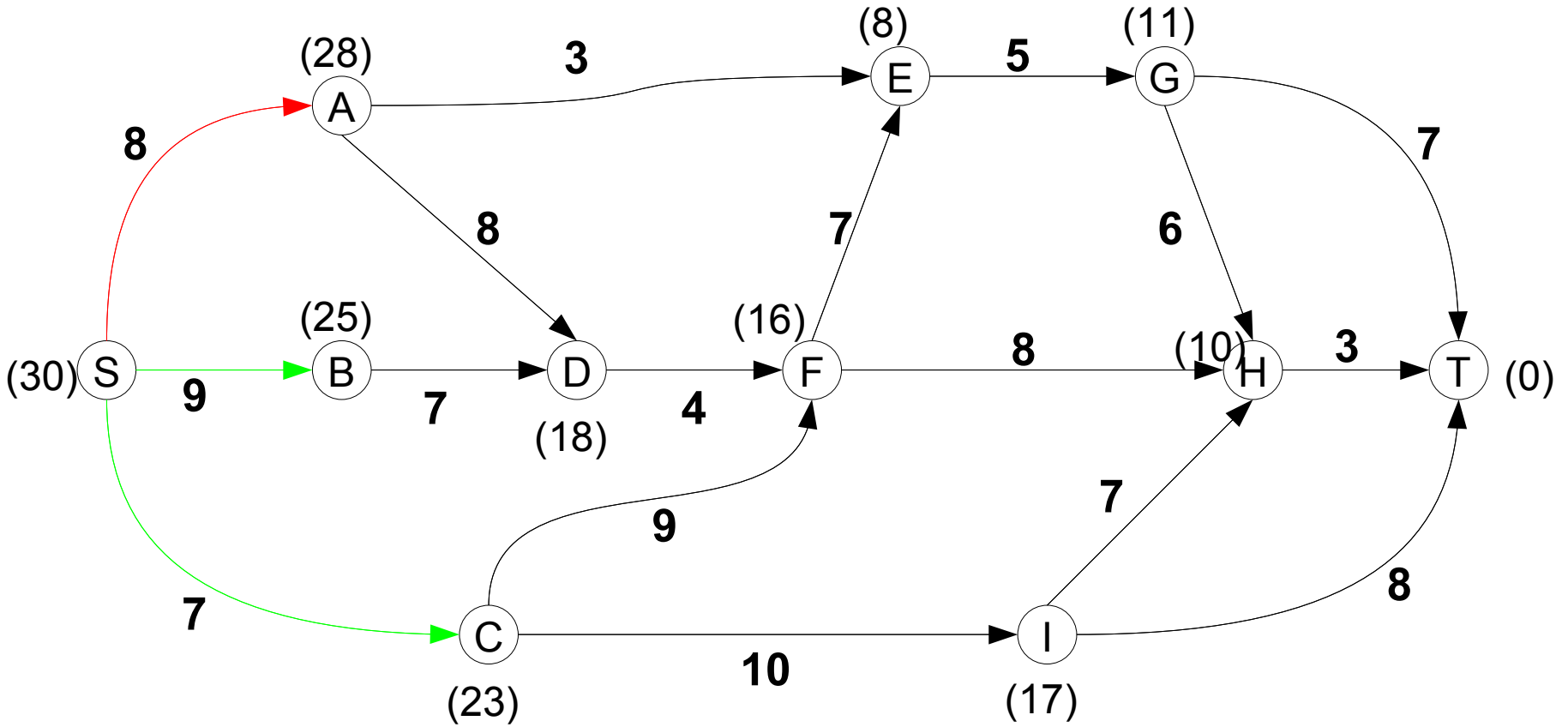
Breadth-First



Τρέχουσα = S
Σύνολο = [A,B,C]



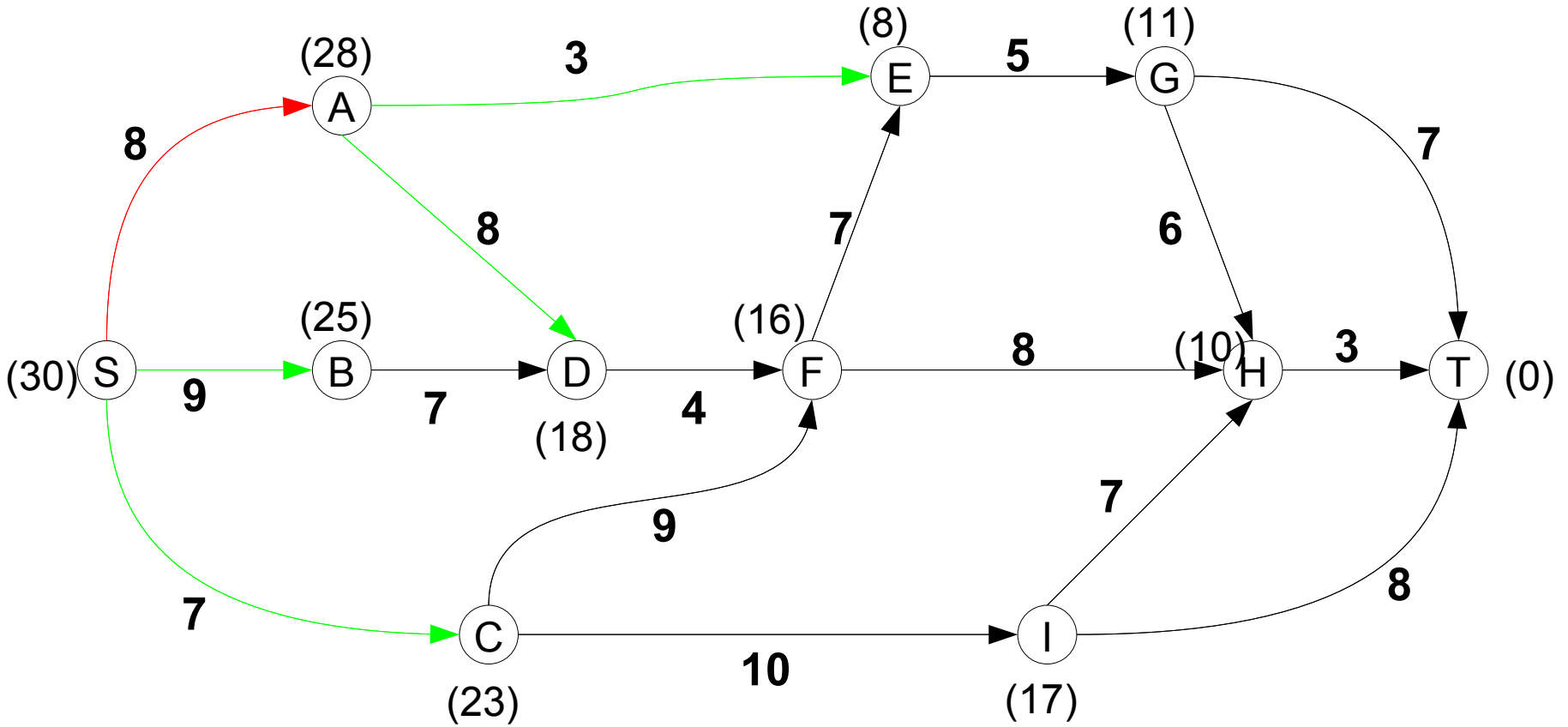
Breadth-First



Τρέχουσα = A
Σύνολο = [B,C]



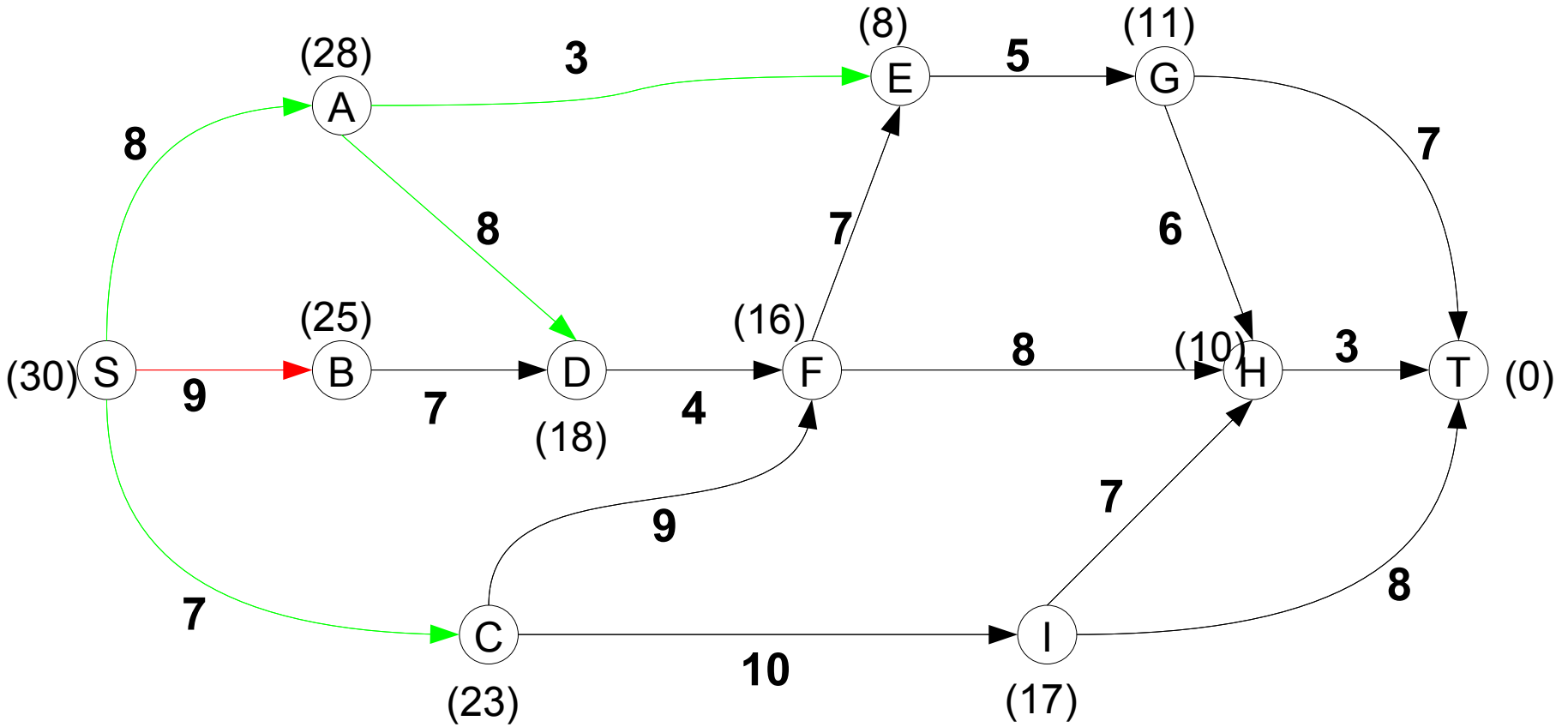
Breadth-First



Τρέχουσα = A
Σύνολο = [B,C,E,D]



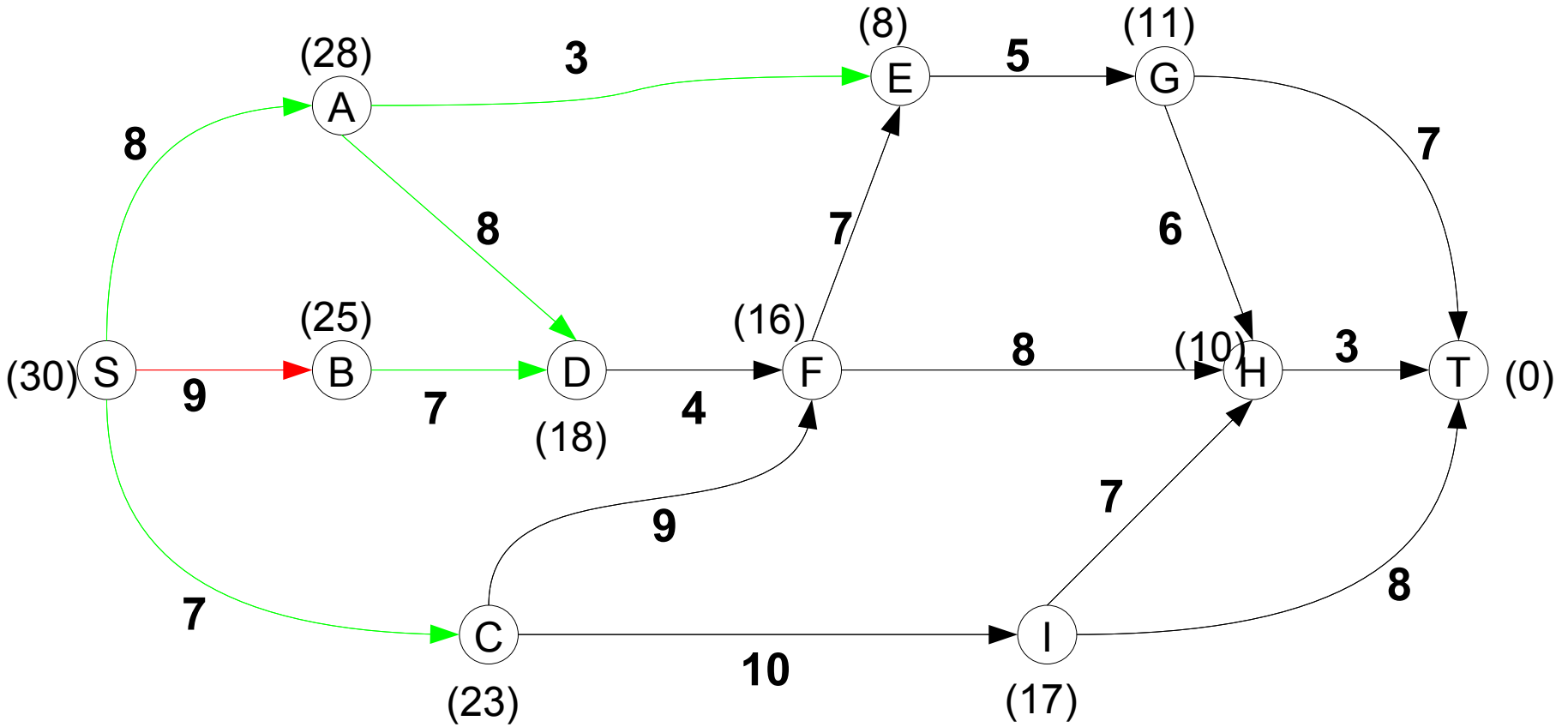
Breadth-First



Τρέχουσα = B
Σύνολο = [C,E,D]



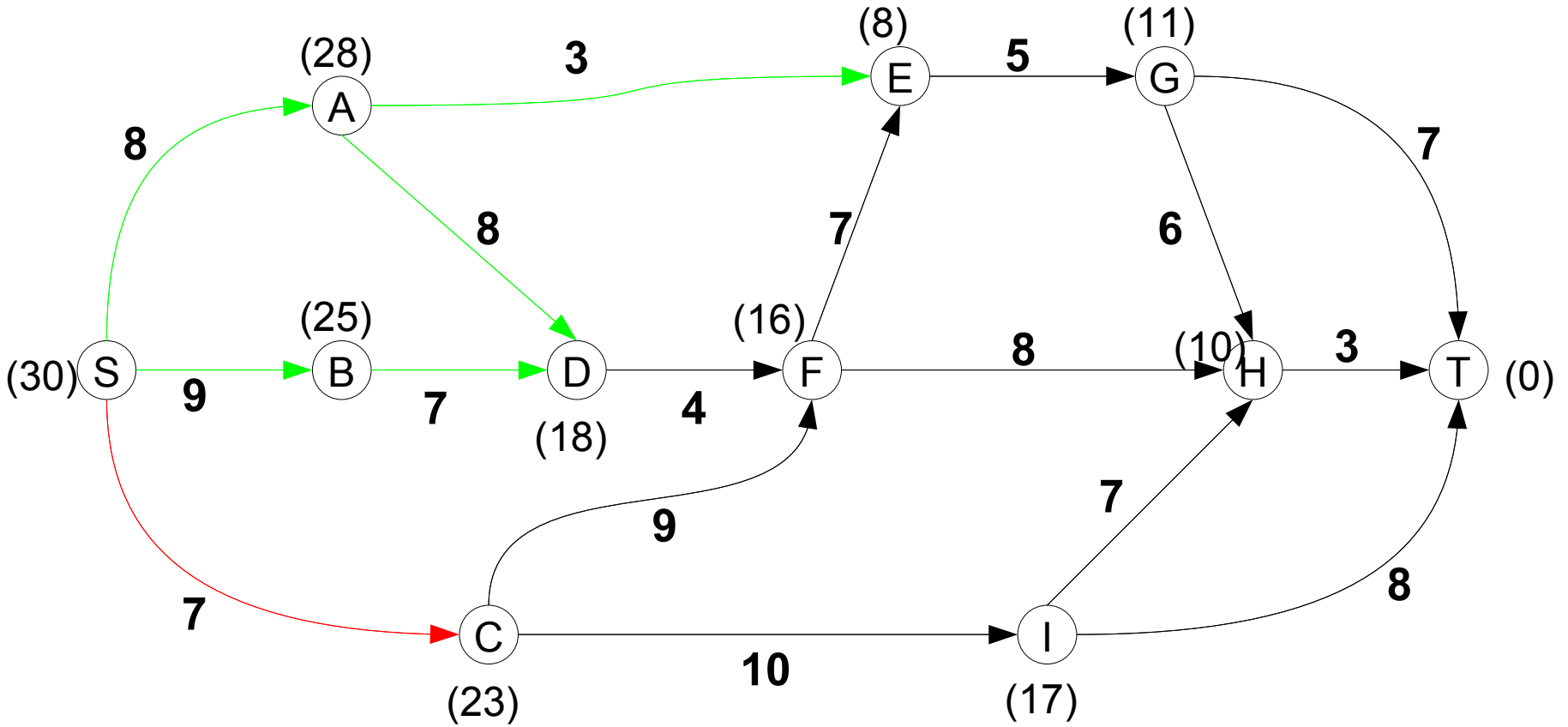
Breadth-First



Τρέχουσα = B
Σύνολο = [C,E,D,(D)]



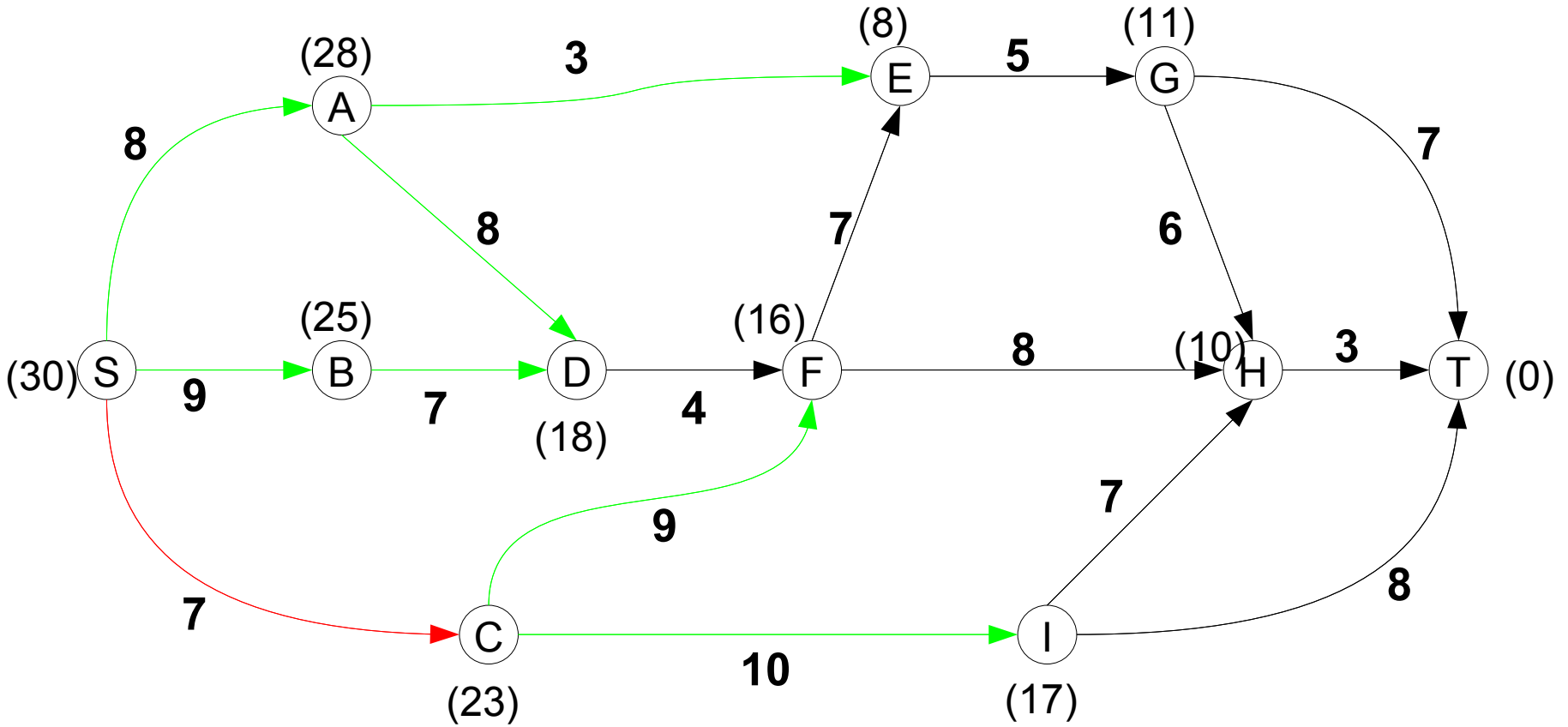
Breadth-First



Τρέχουσα = C
Σύνολο = [E,D]



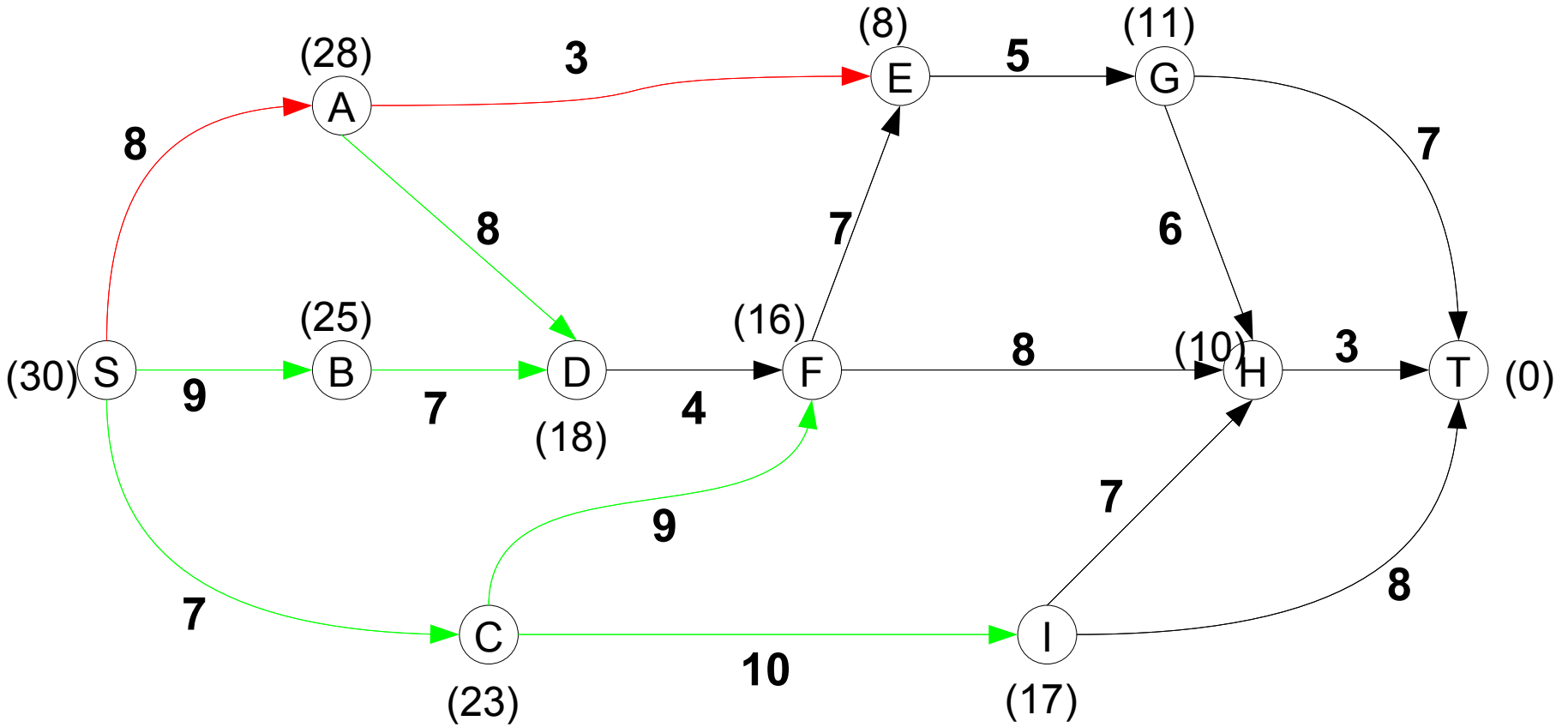
Breadth-First



Τρέχουσα = C
Σύνολο = [E,D,F,I]



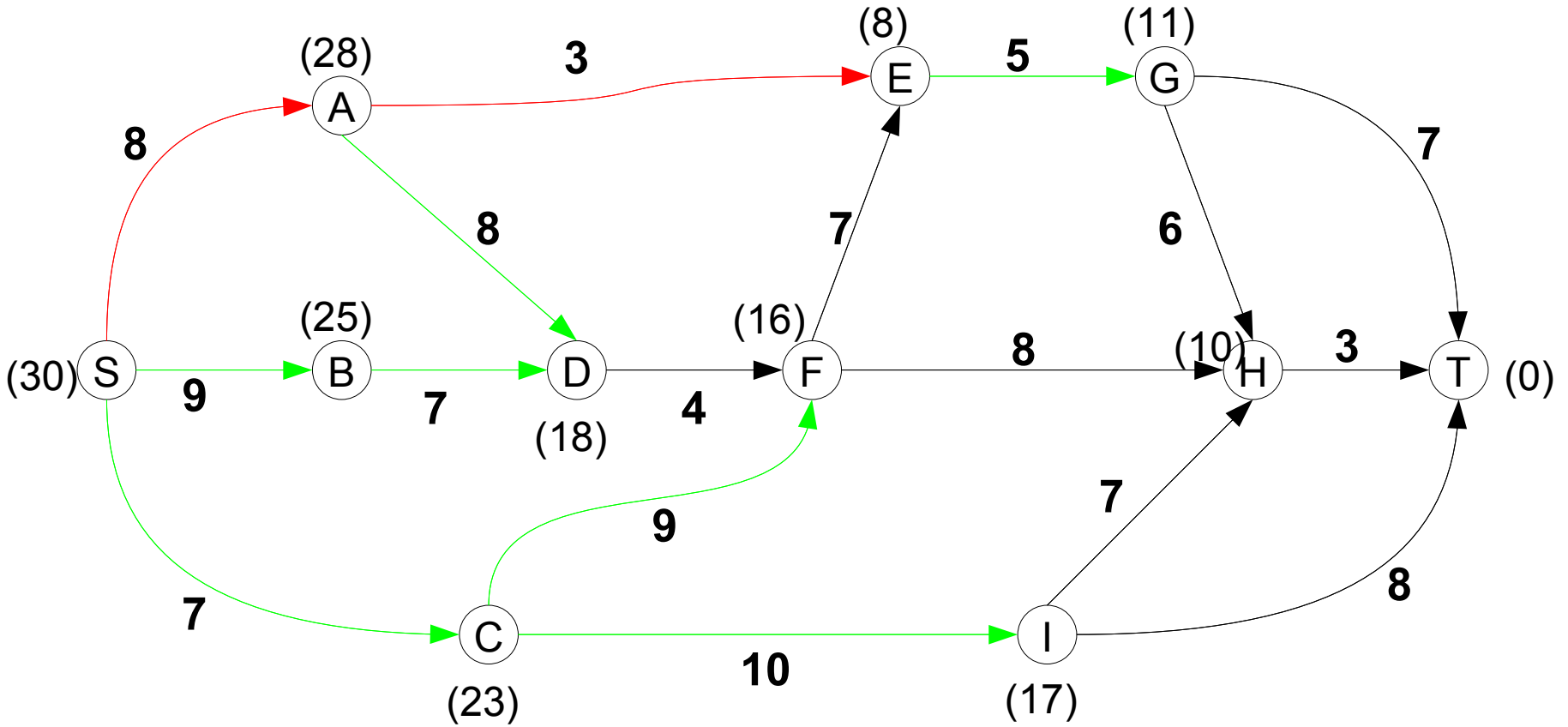
Breadth-First



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [D, F, I]



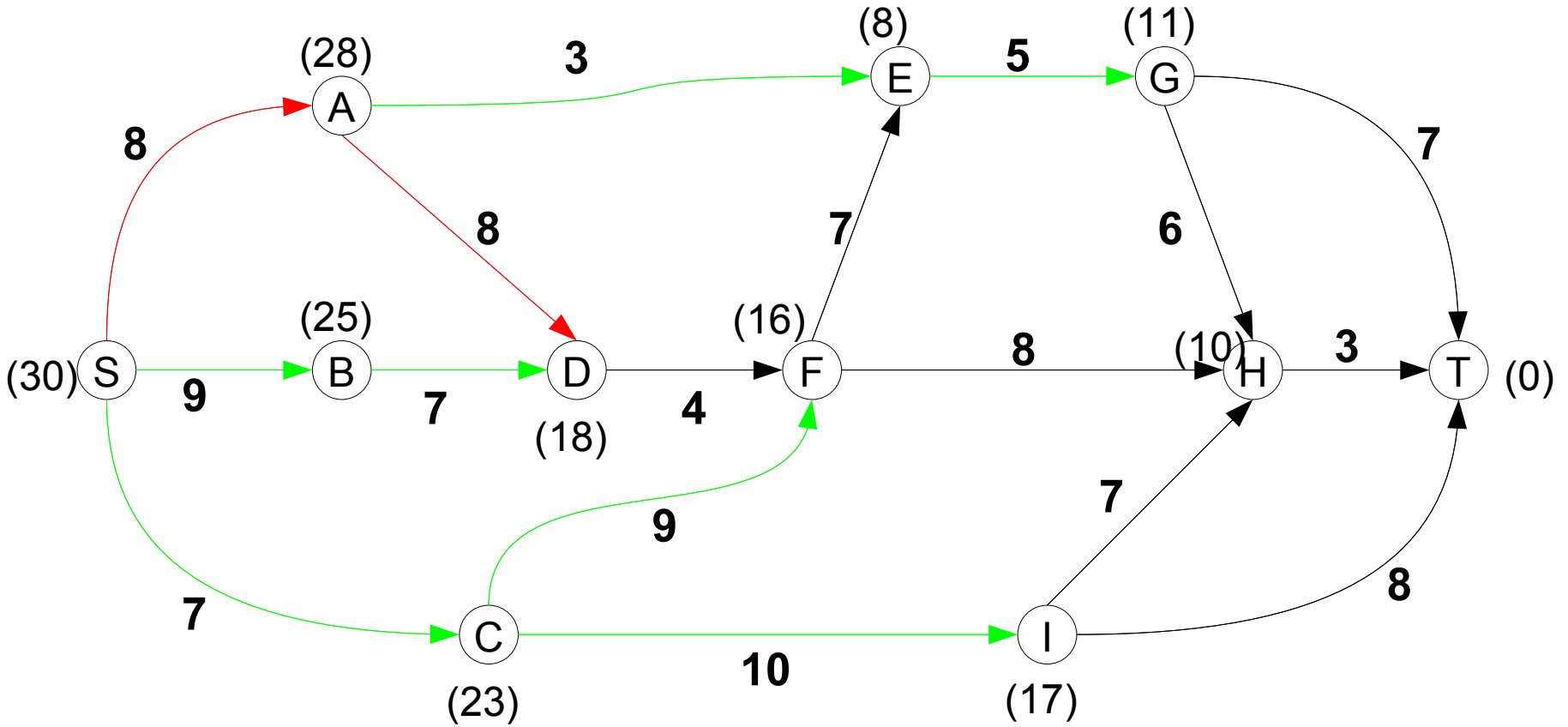
Breadth-First



Τρέχουσα = E
Σύνολο = [D,F,I,G]



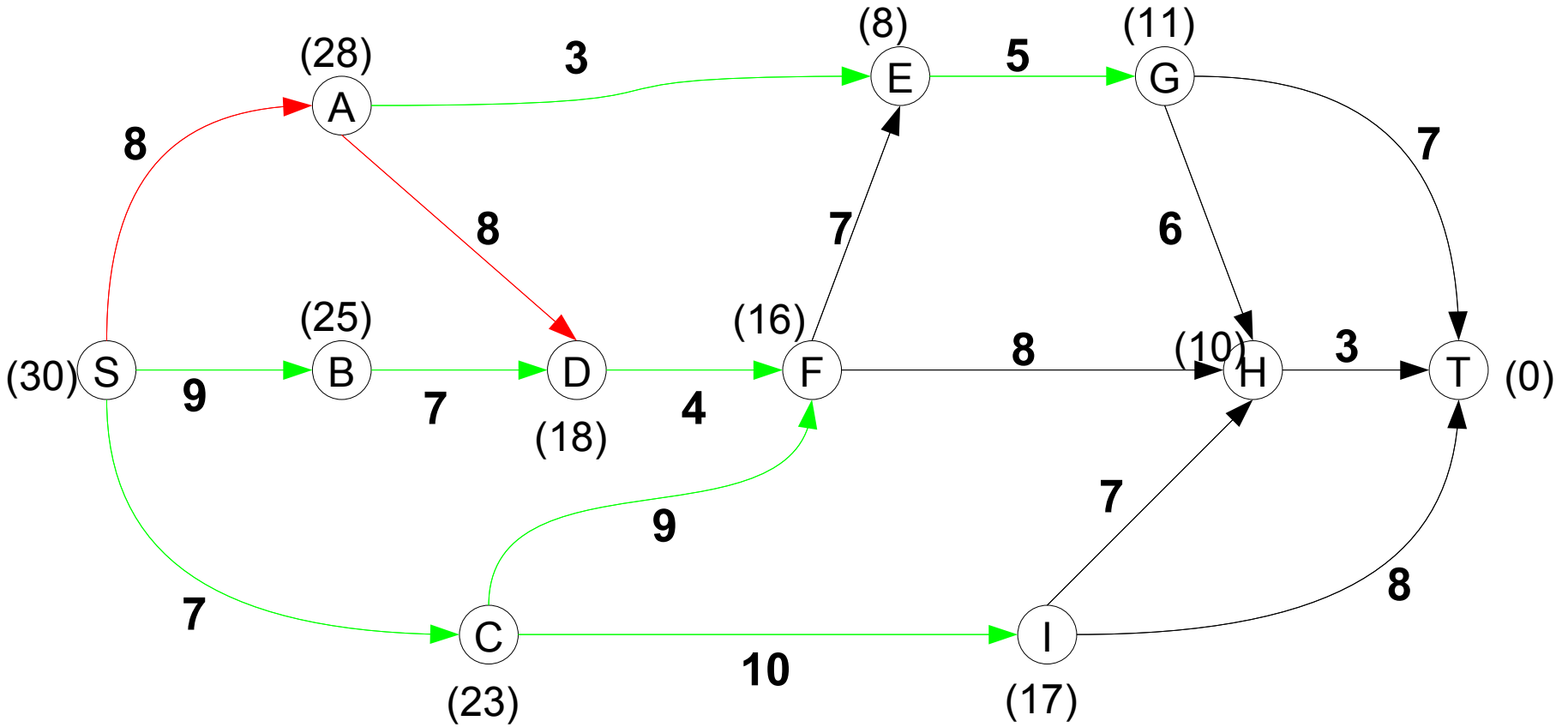
Breadth-First



Τρέχουσα = D
Σύνολο = [F,I,G]



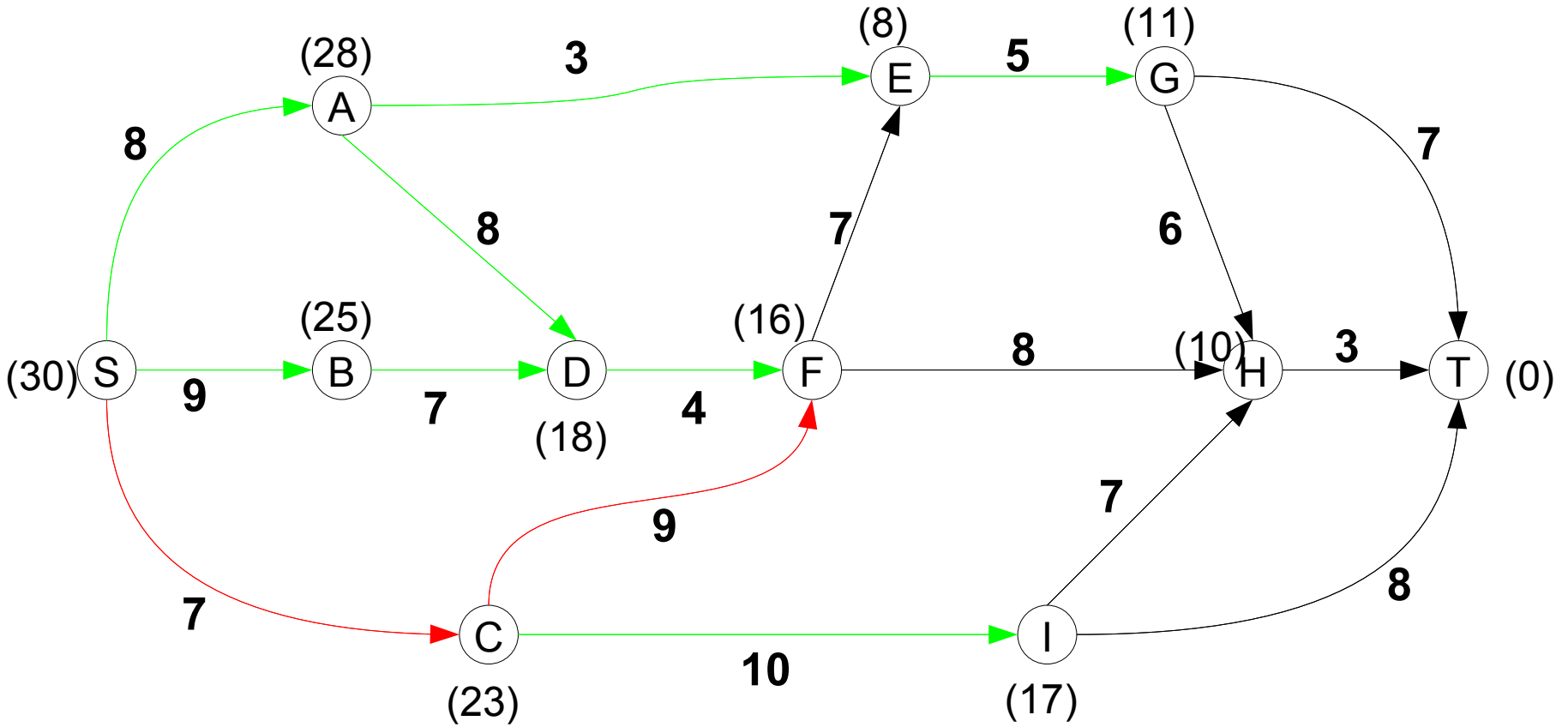
Breadth-First



Τρέχουσα = D
Σύνολο = [F, I, G, (F)]



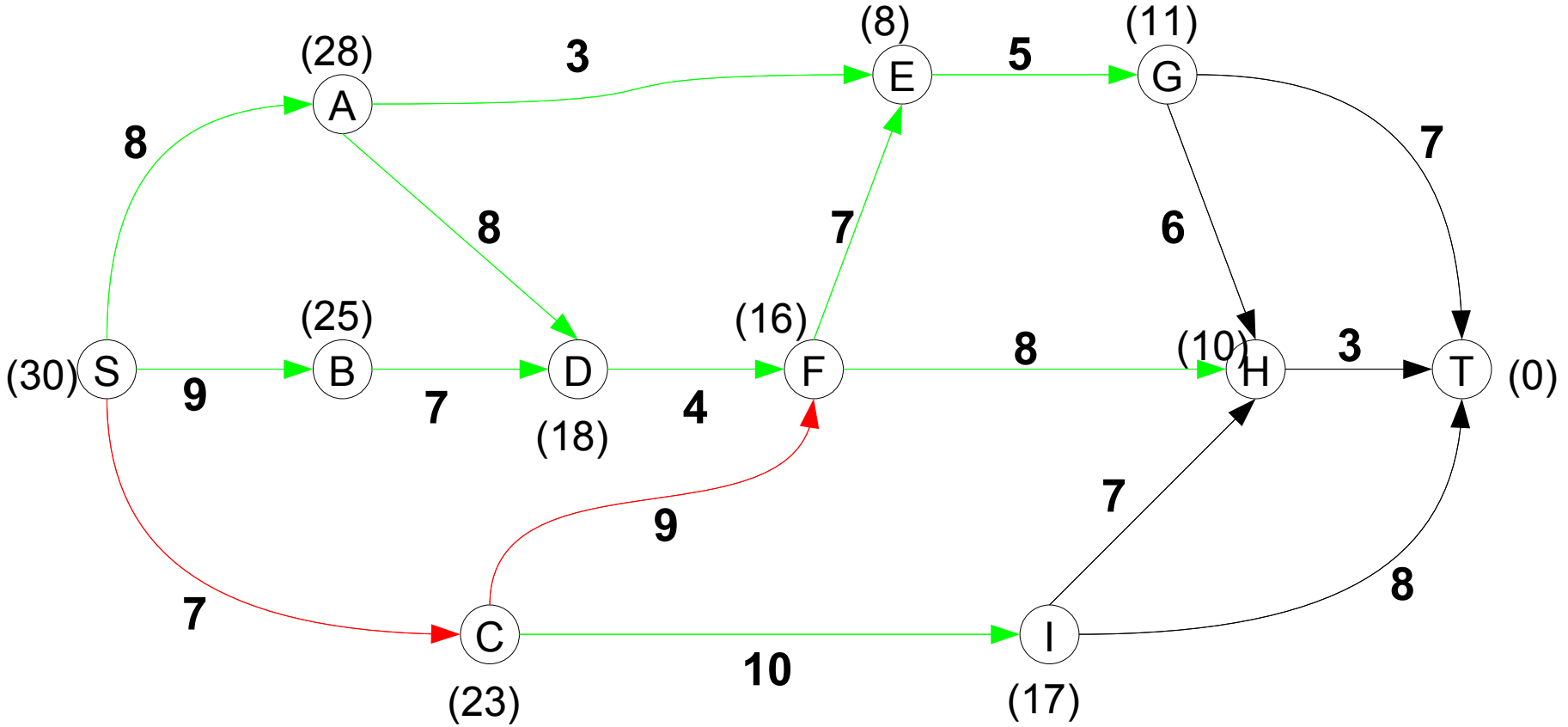
Breadth-First



Τρέχουσα = F
Σύνολο = [I, G]



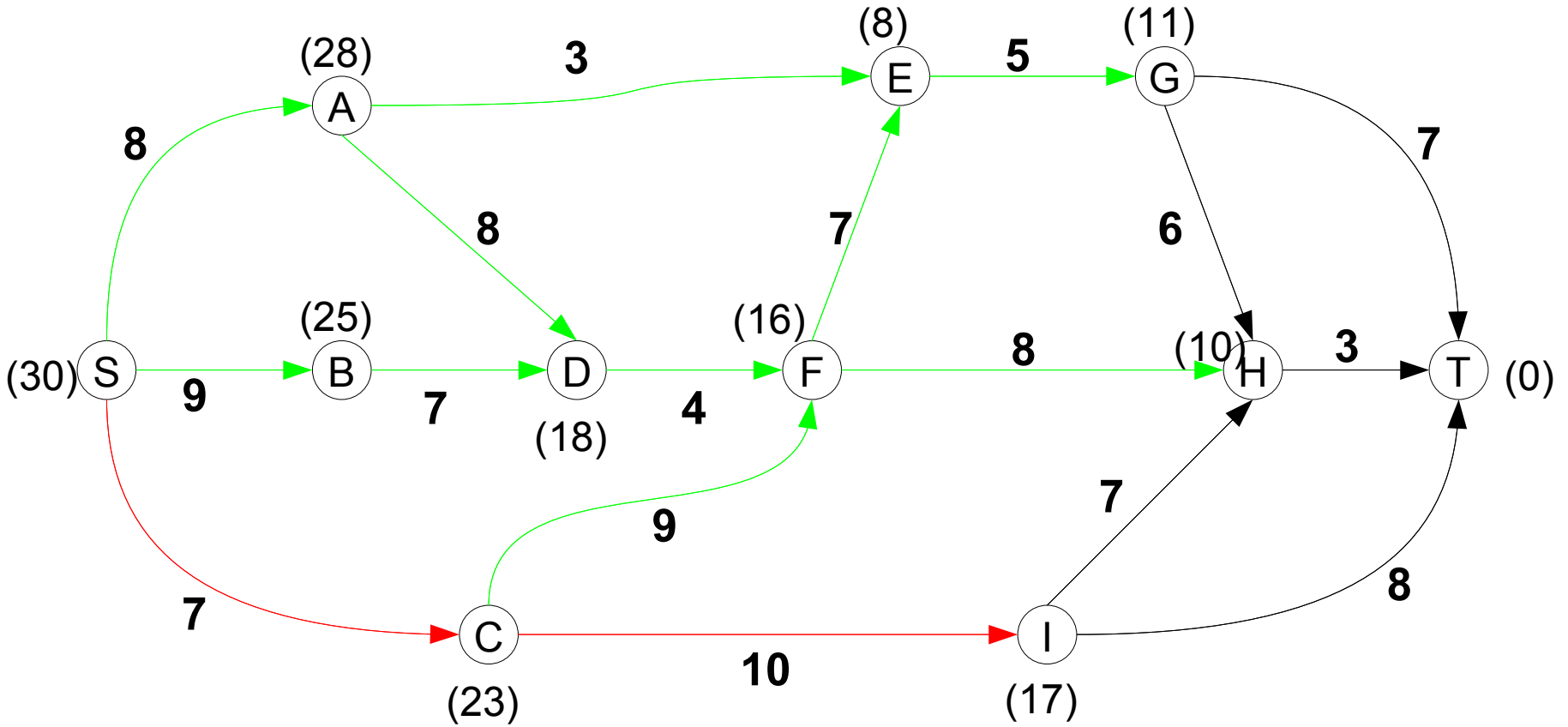
Breadth-First



Τρέχουσα = F
Σύνολο = [I,G,(E),H]



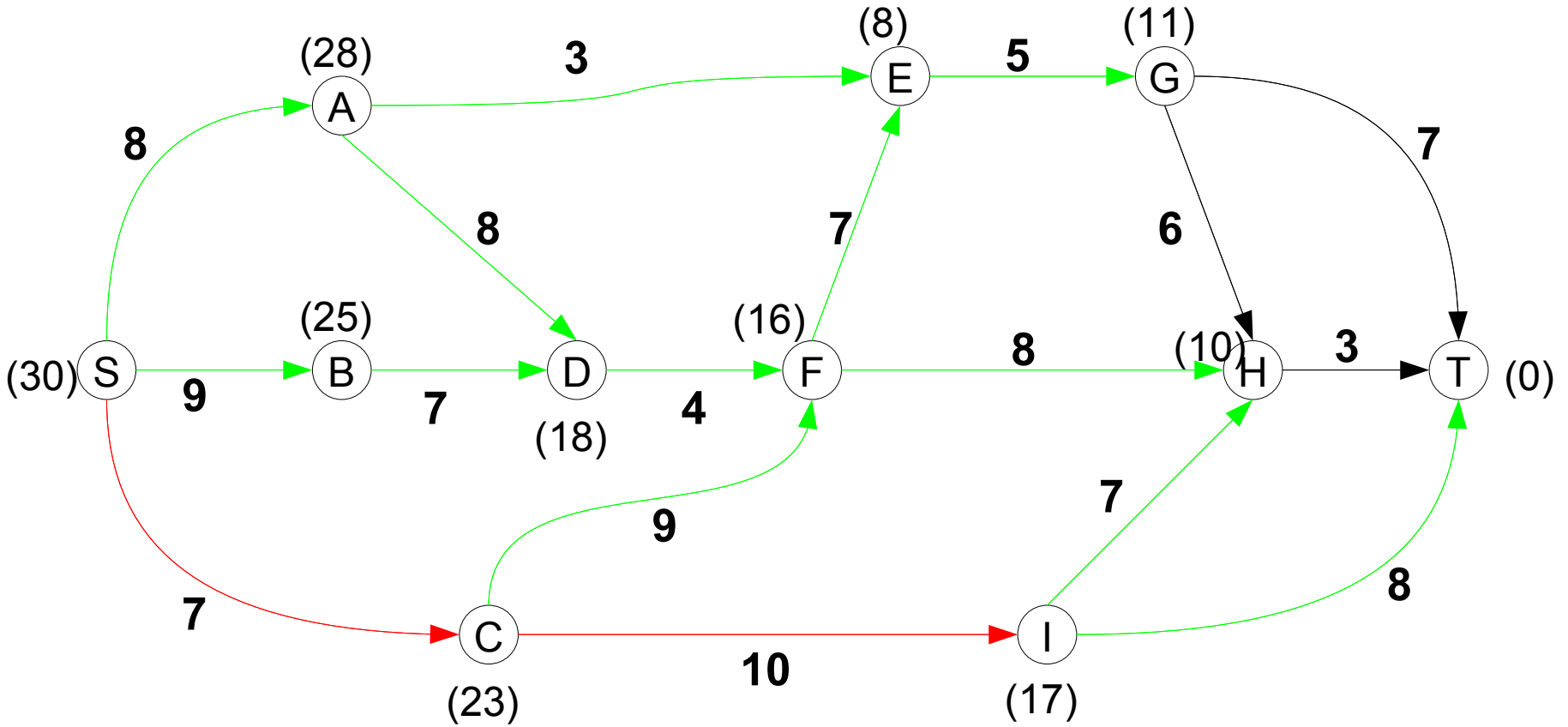
Breadth-First



Τρέχουσα = I
Σύνολο = [G,H]



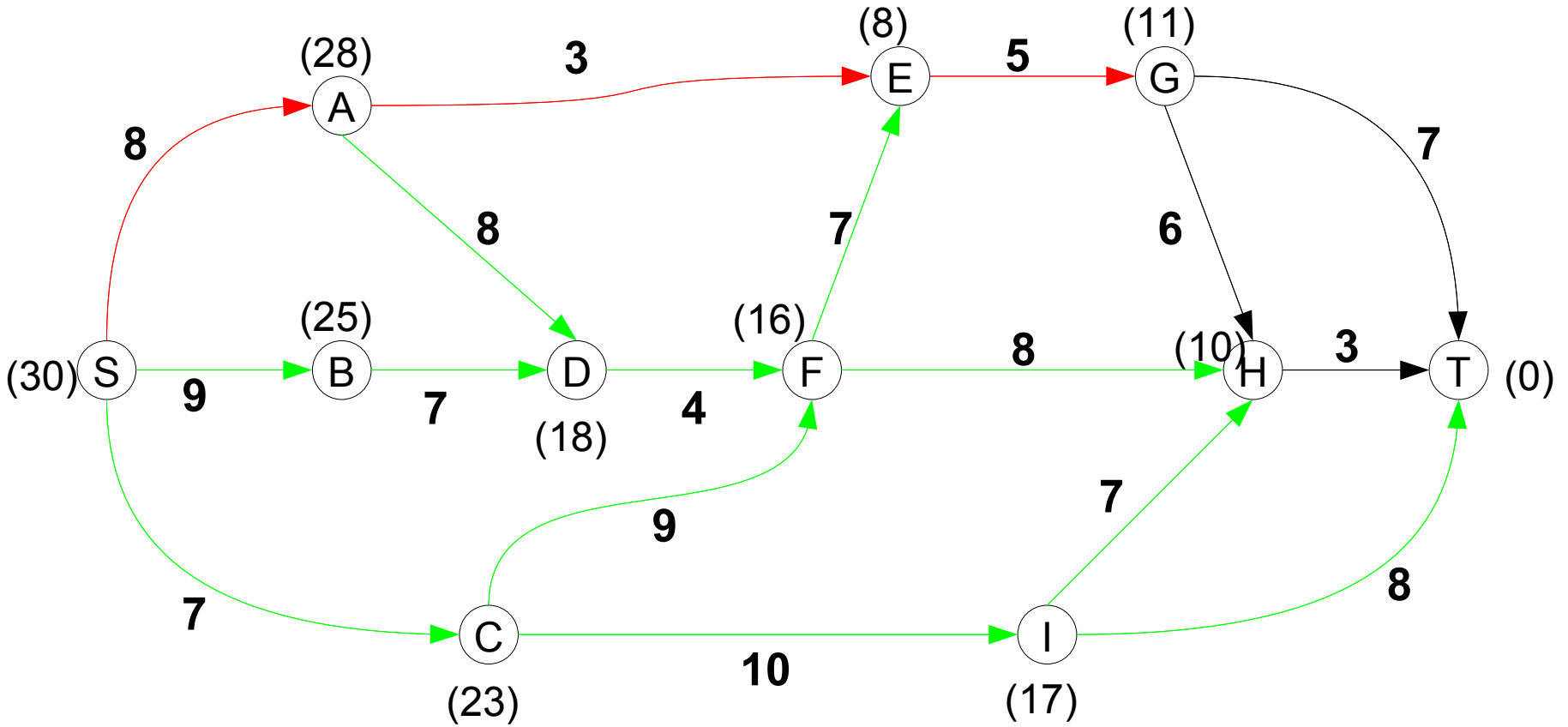
Breadth-First



Τρέχουσα = I
Σύνολο = [G,H,(H),T]



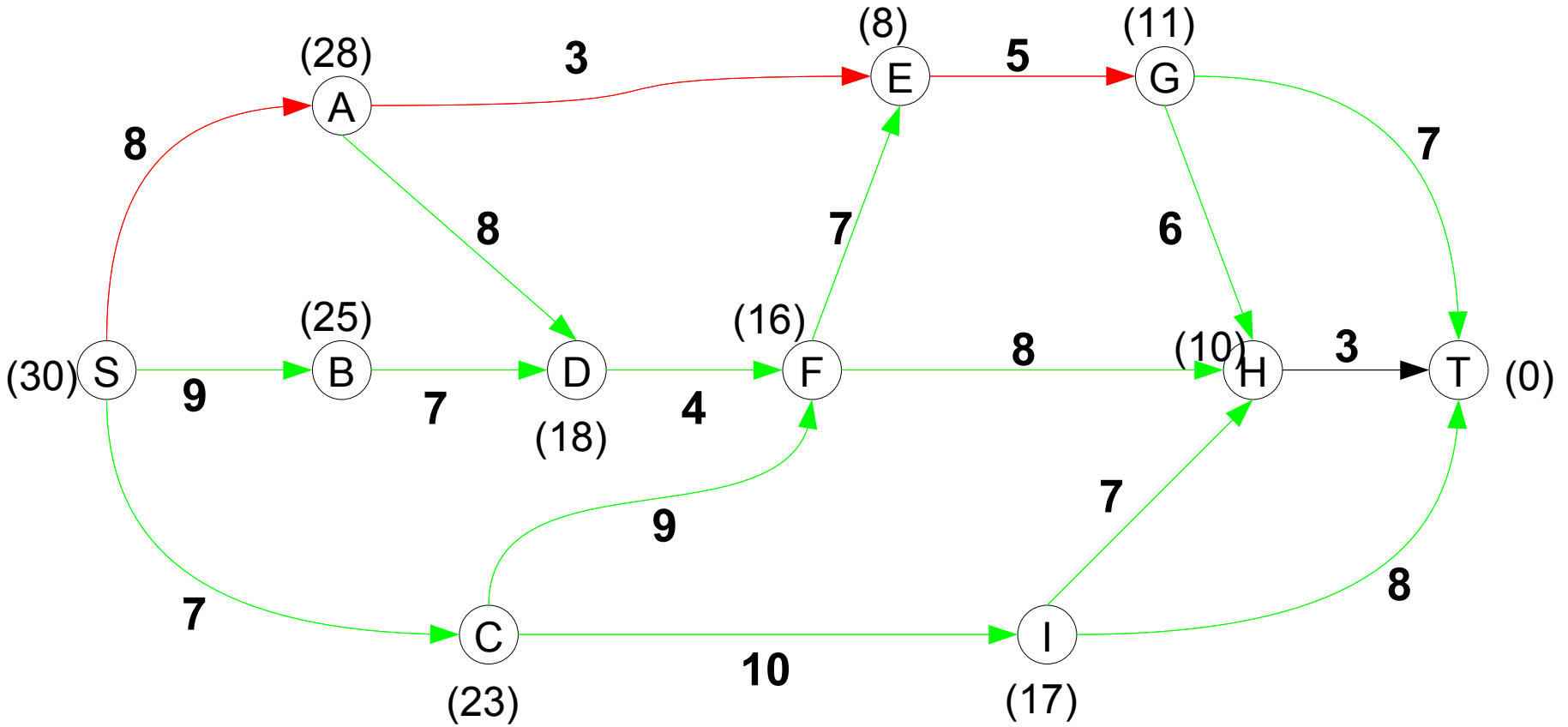
Breadth-First



Τρέχουσα = G
Σύνολο = [H, T]



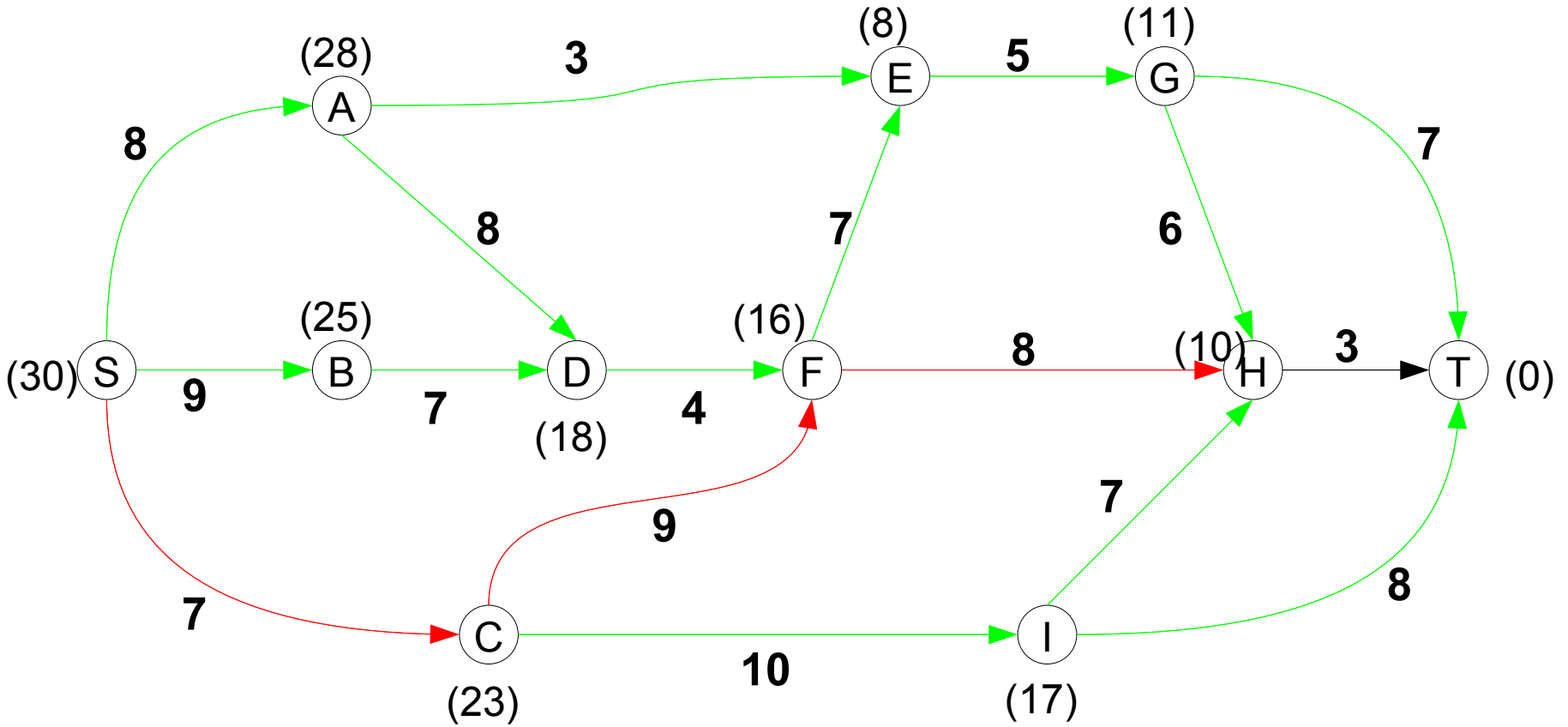
Breadth-First



Τρέχουσα = G
Σύνολο = [H,T,(T),(H)]



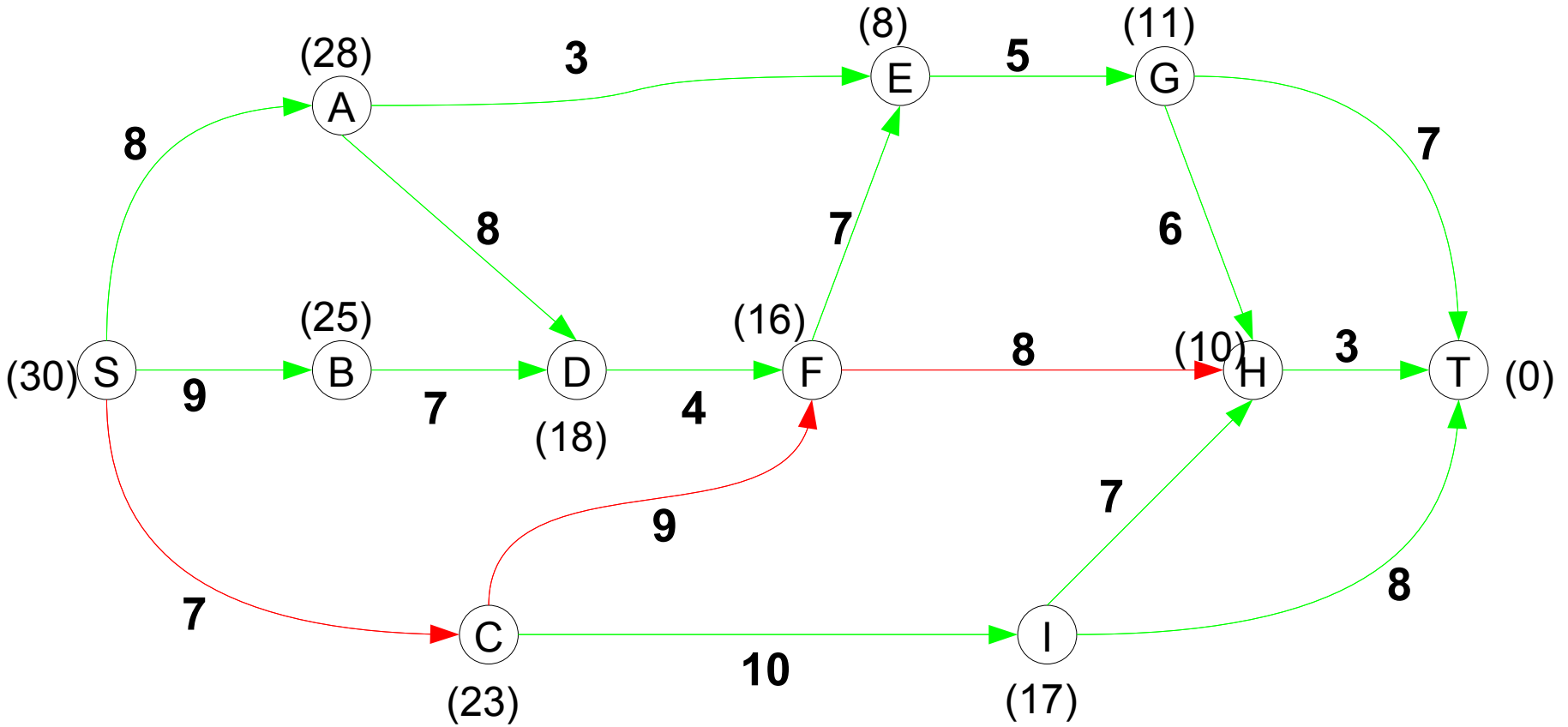
Breadth-First



Τρέχουσα = H
Σύνολο = [T]



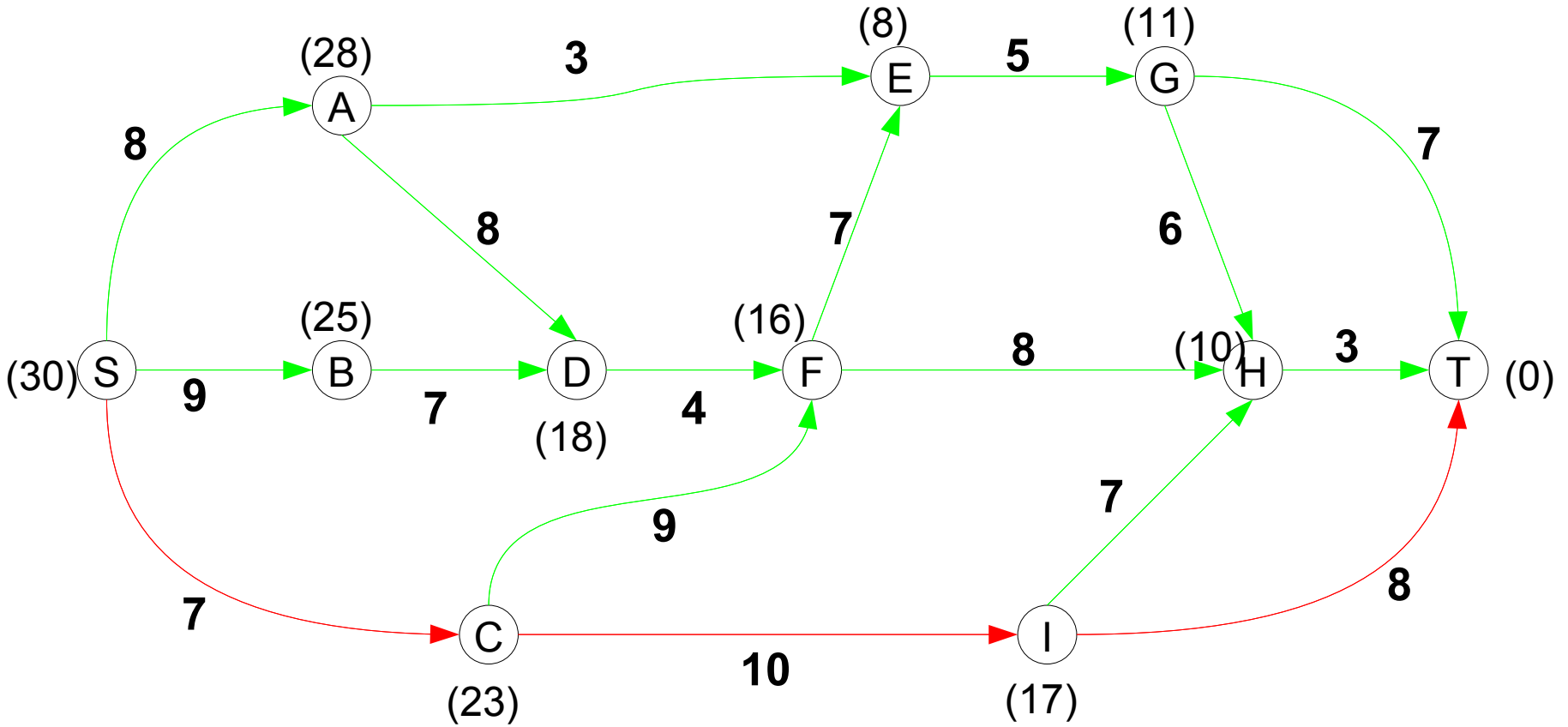
Breadth-First



Τρέχουσα = H
Σύνολο = [T, (T)]



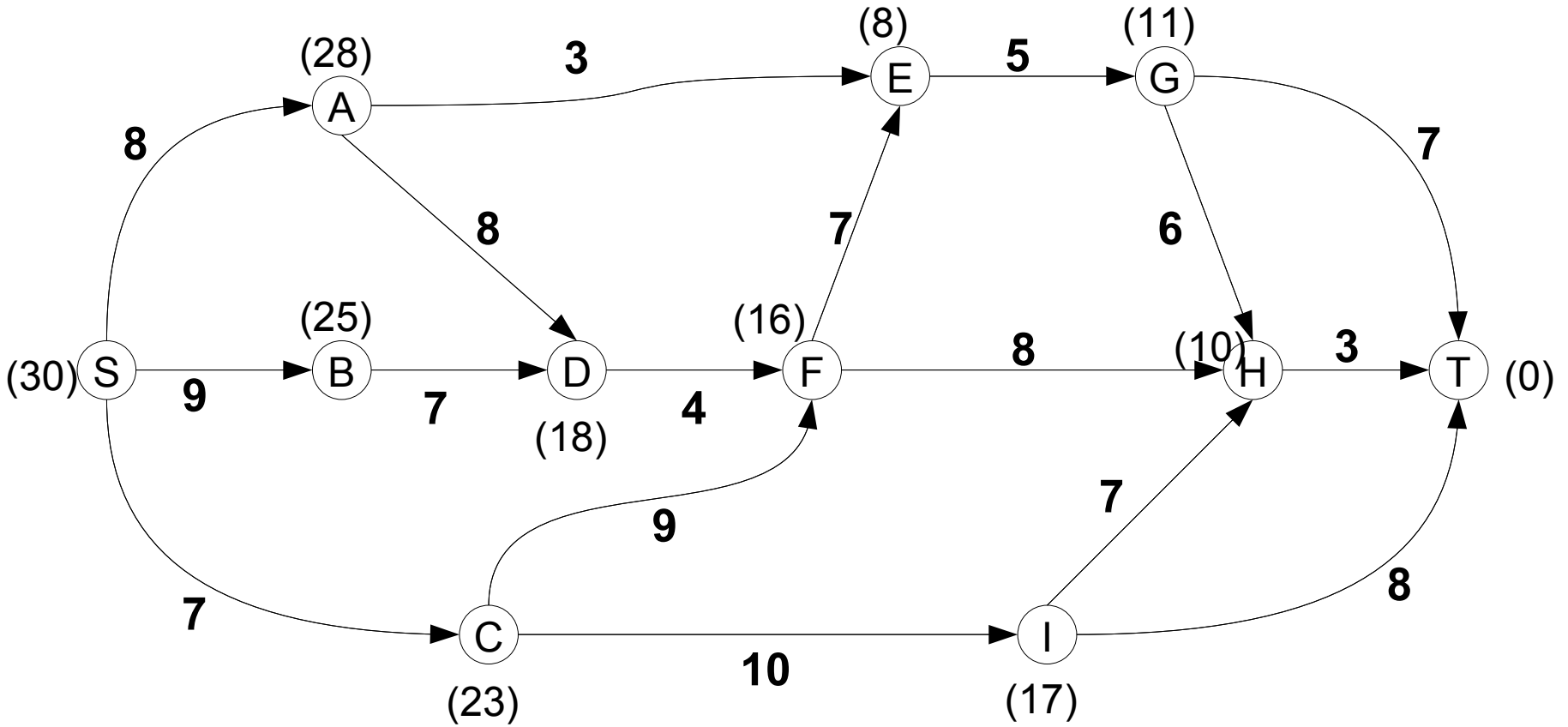
Breadth-First



Τρέχουσα = T
Σύνολο = []



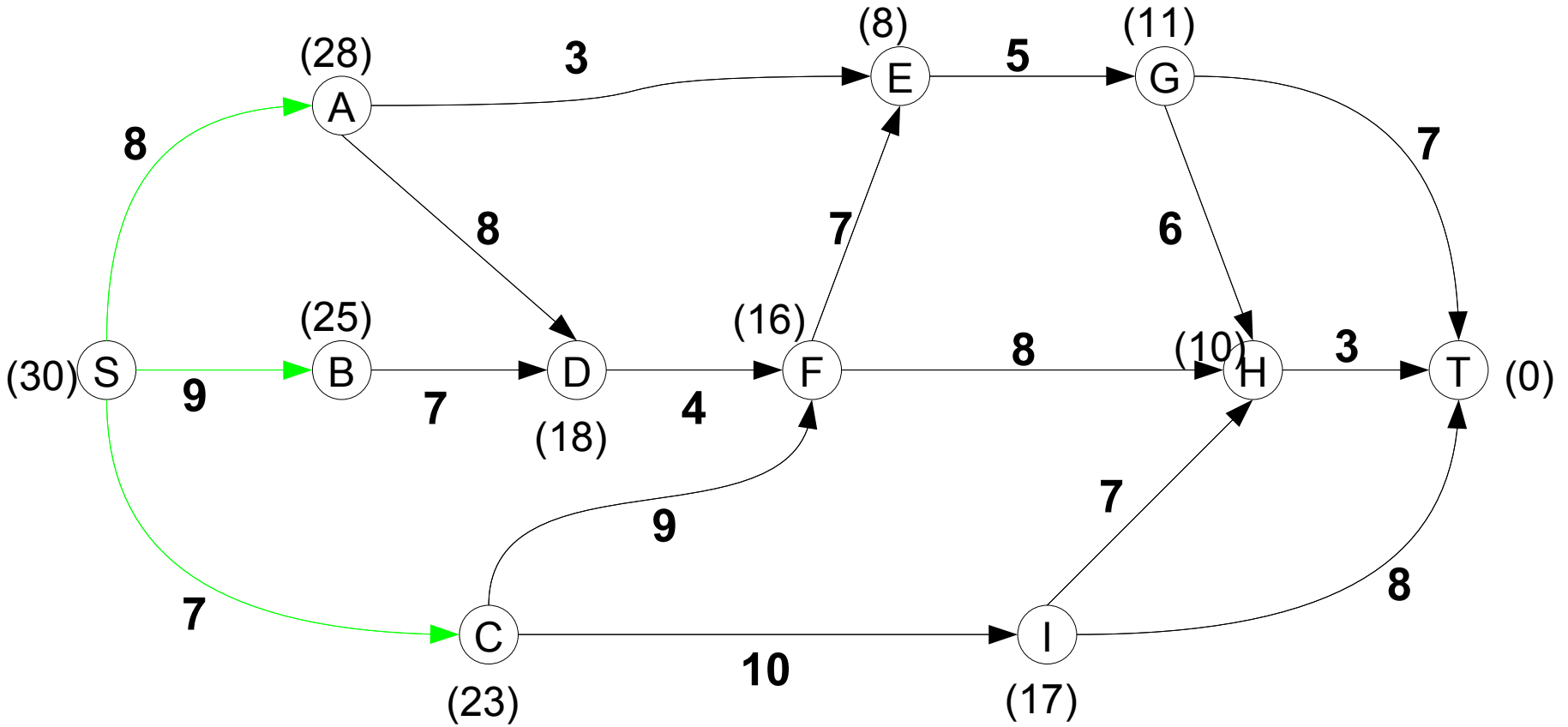
Best-First, Είσοδος $h(n)$



Τρέχουσα = S
Σύνολο = []



Best-First

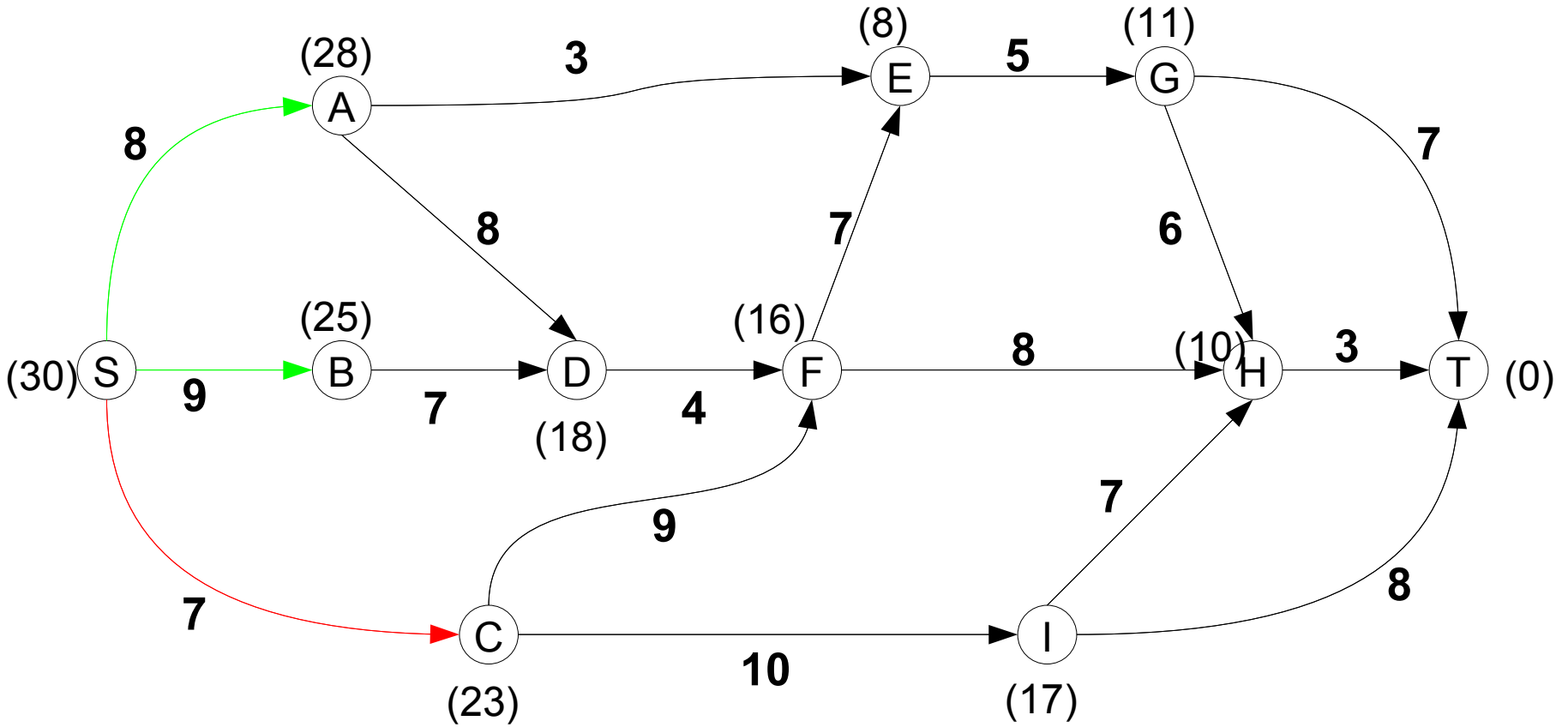


Τρέχουσα = S

Σύνολο = [C(23), B(25), A(28)]



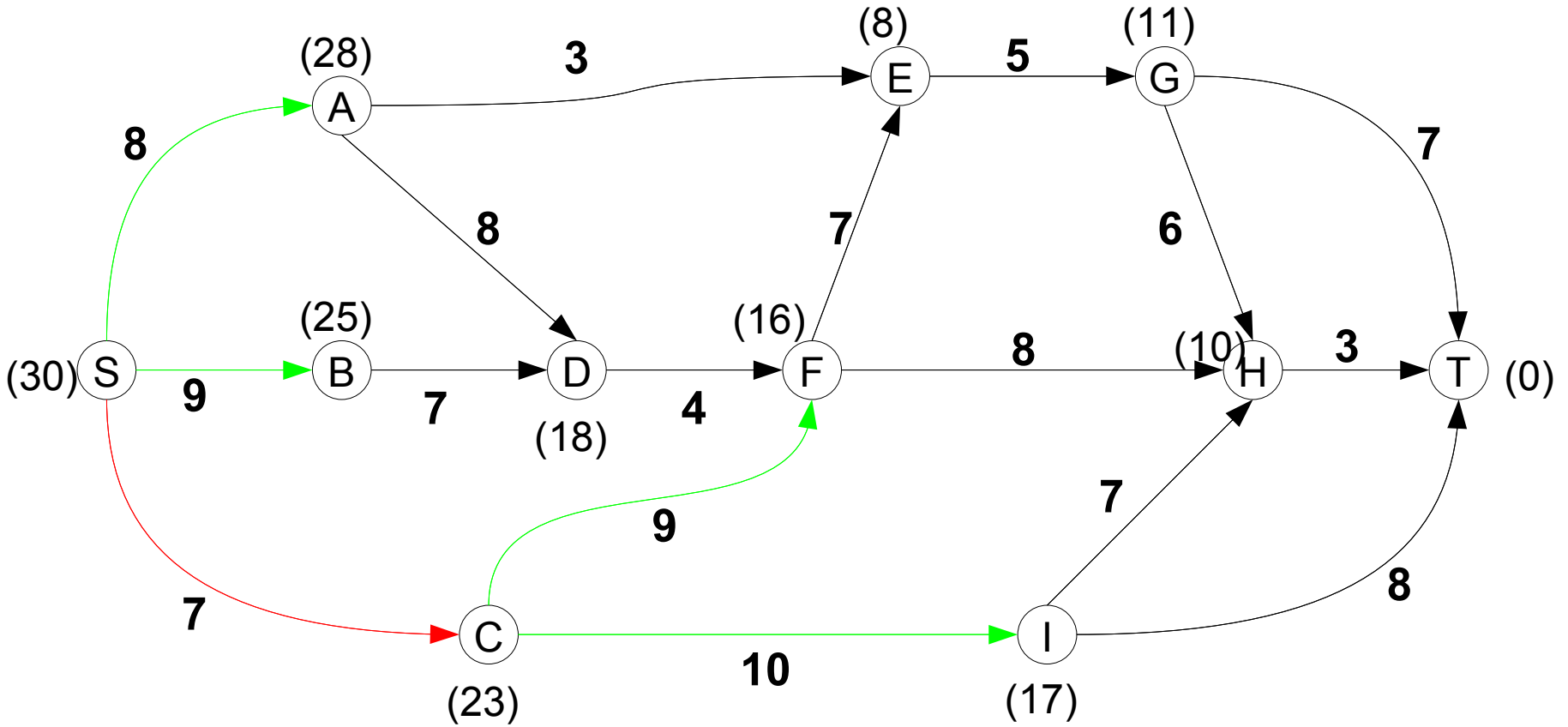
Best-First



Τρέχουσα = C
Σύνολο = [B(25), A(28)]



Best-First

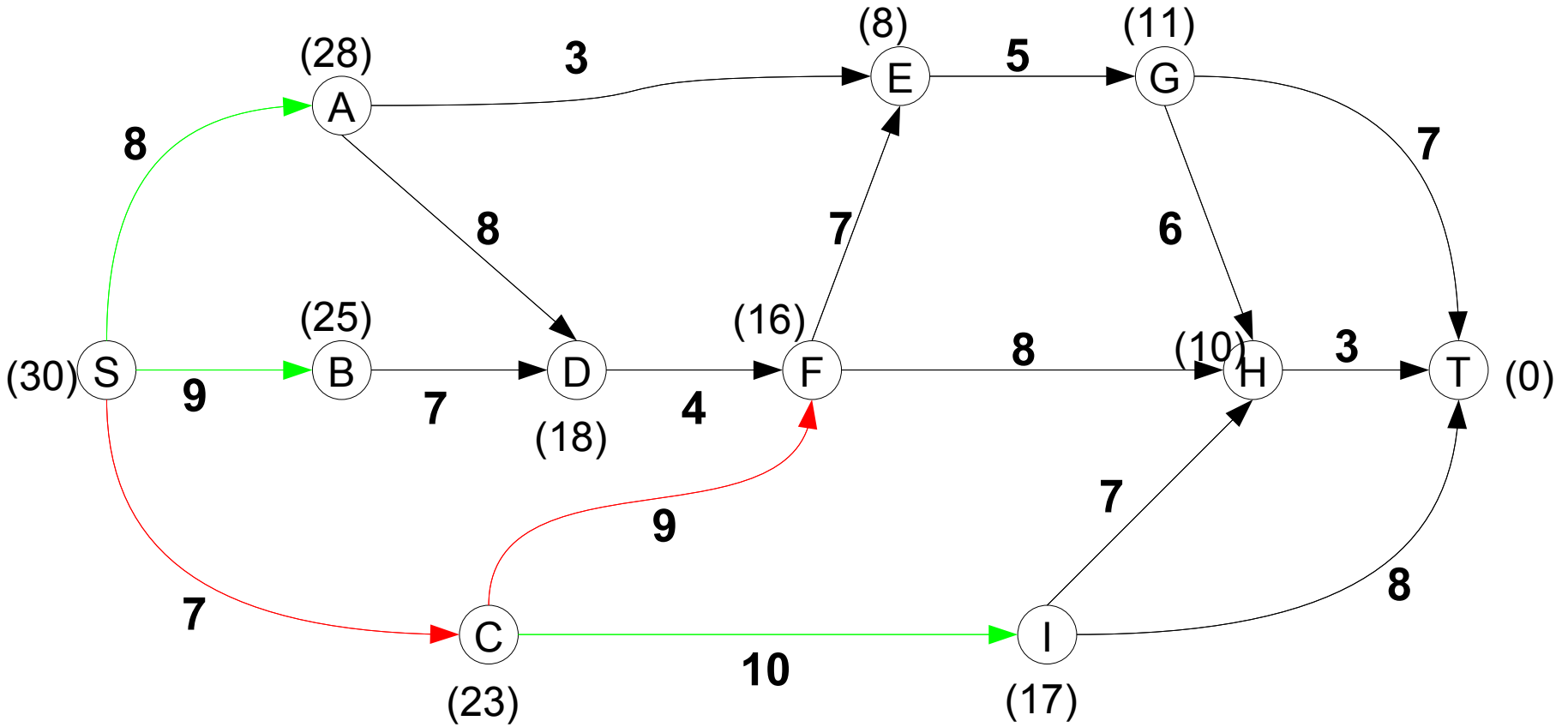


Τρέχουσα = C

Σύνολο = [F(16),I(17),B(25),A(28)]



Best-First

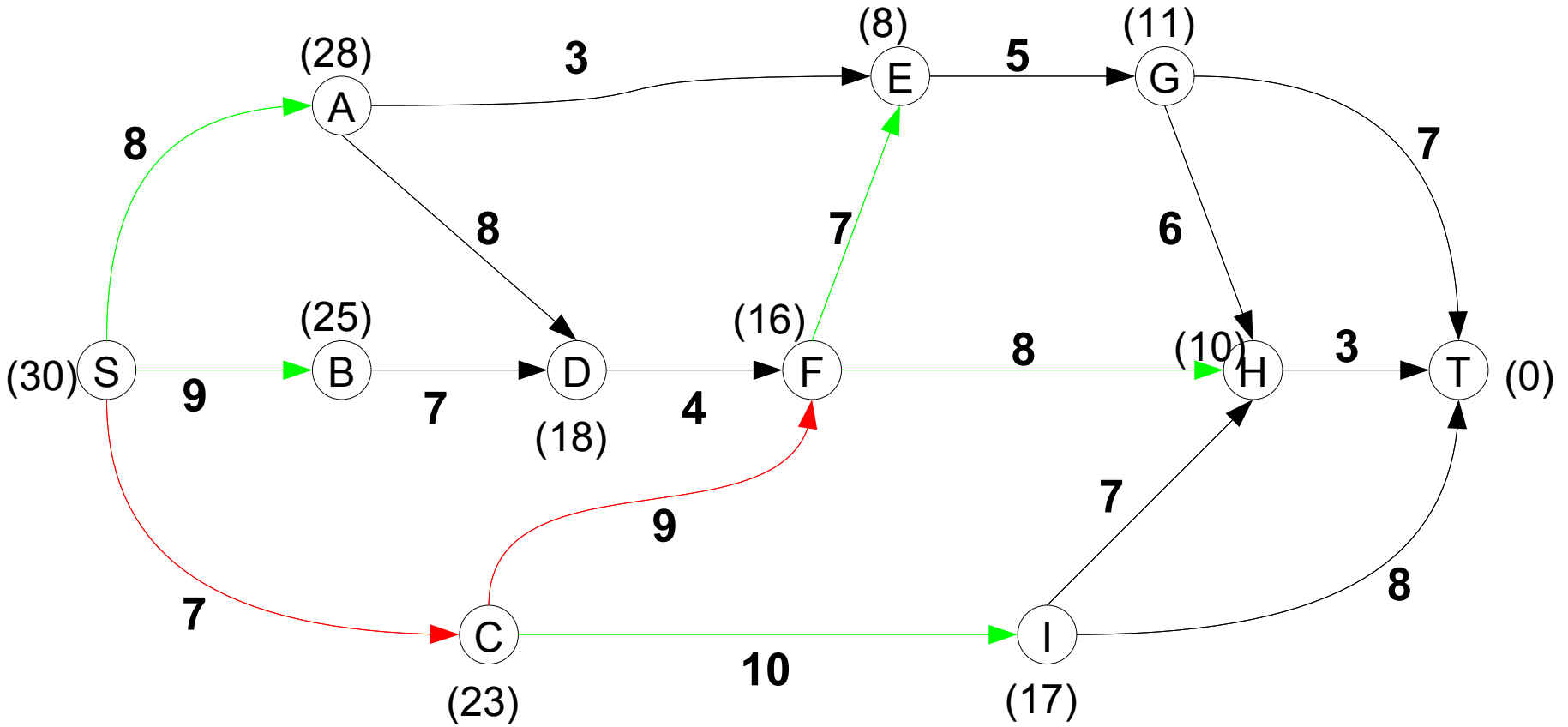


Τρέχουσα = F

Σύνολο = [I(17), B(25), A(28)]



Best-First

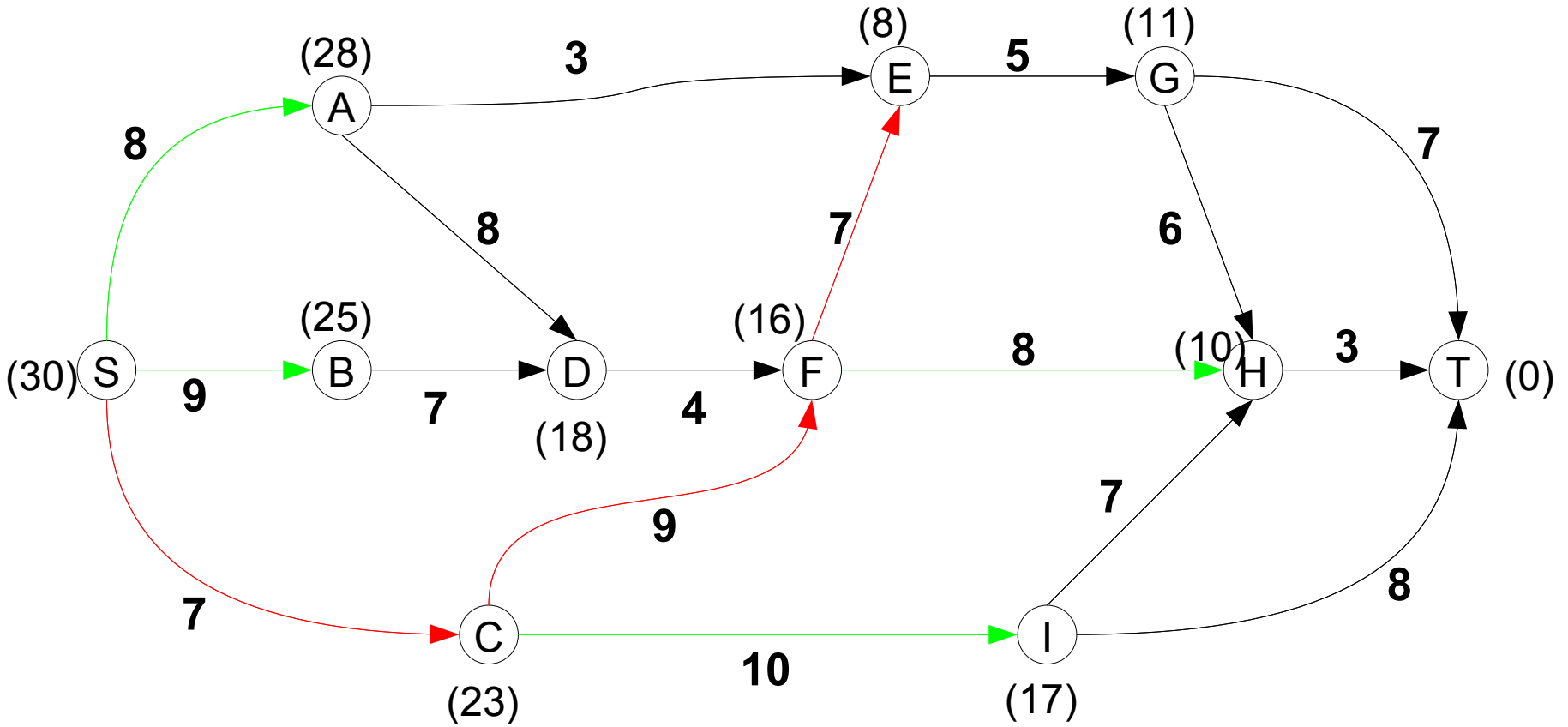


Τρέχουσα = F

Σύνολο = [E(8),H(10),I(17),B(25),A(28)]



Best-First

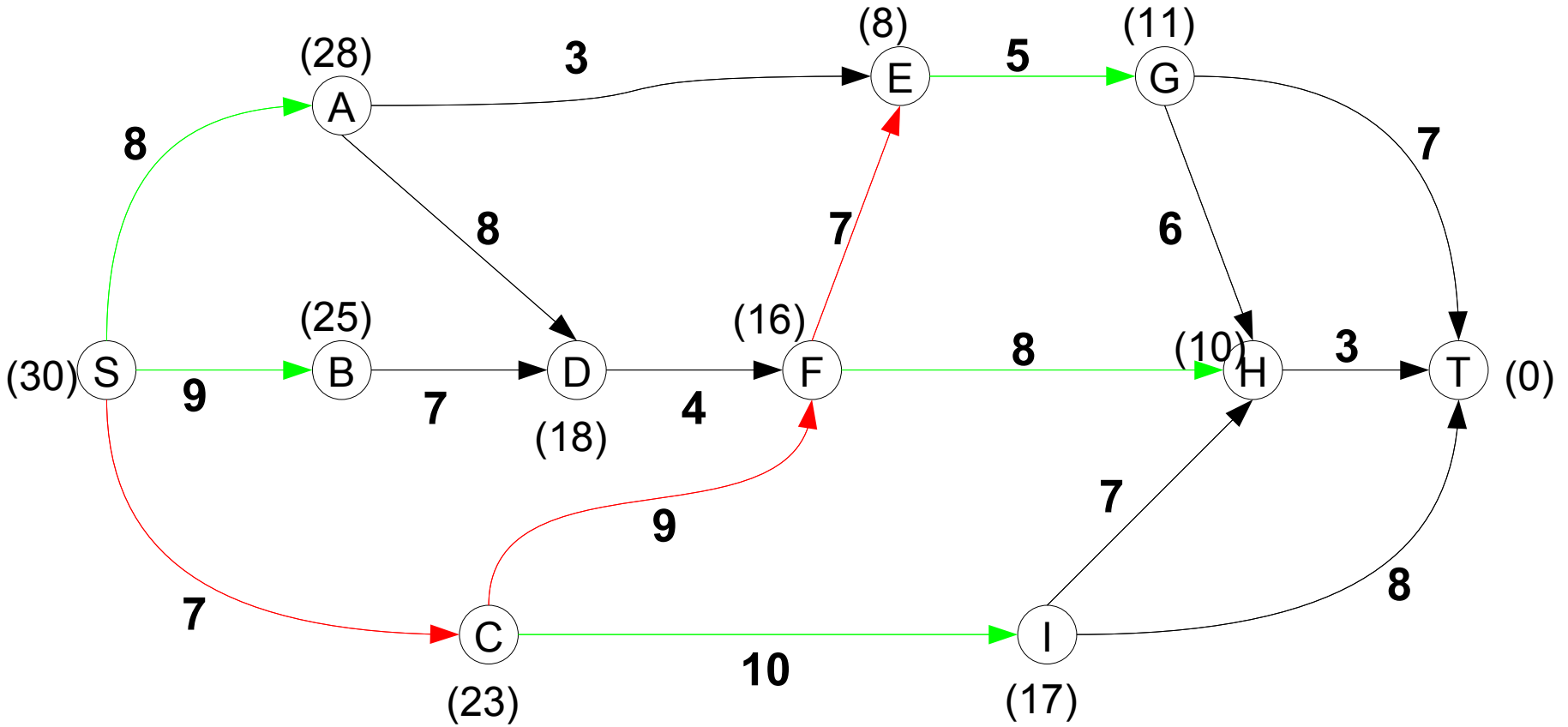


Τρέχουσα = E

Σύνολο = [H(10),I(17),B(25),A(28)]



Best-First

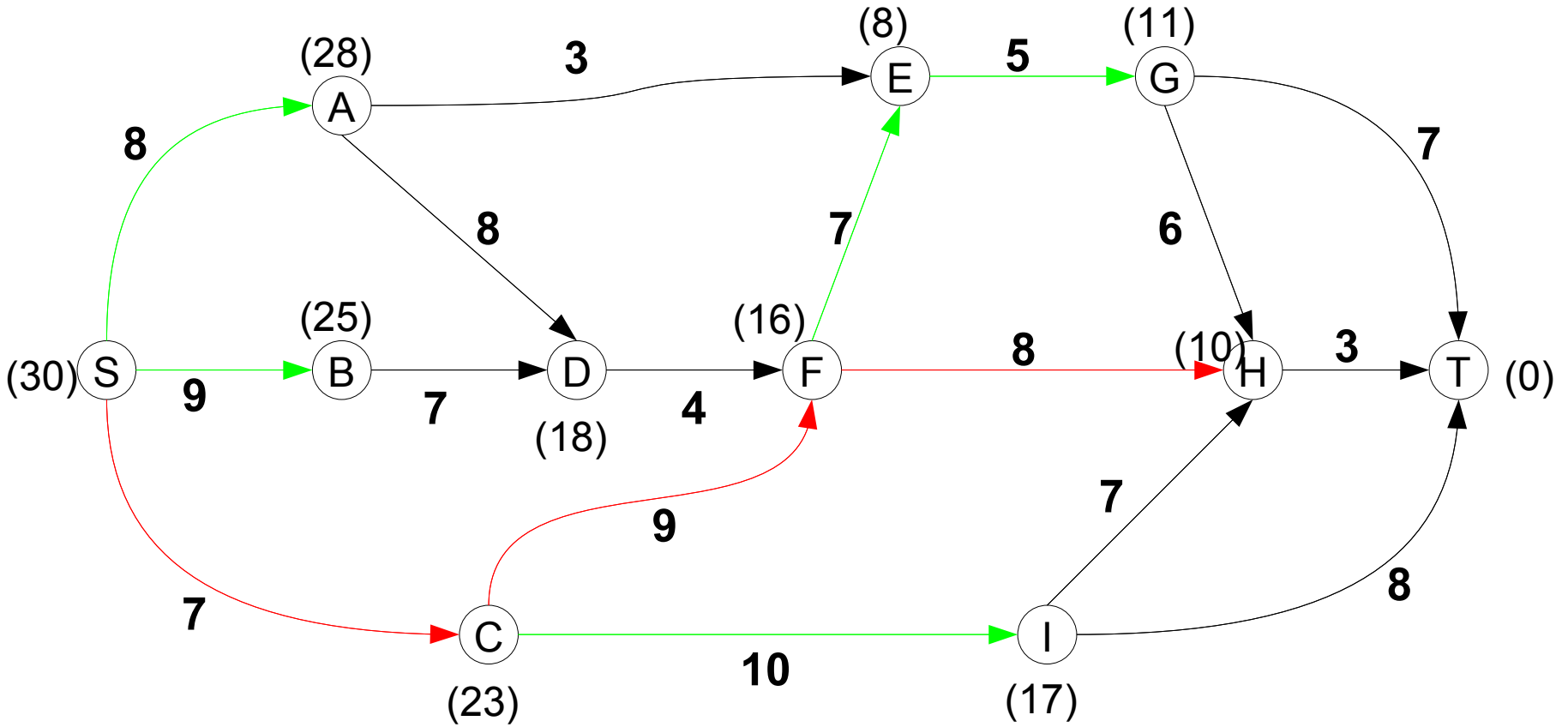


Τρέχουσα = E

Σύνολο = [H(10), G(11), I(17), B(25), A(28)]



Best-First

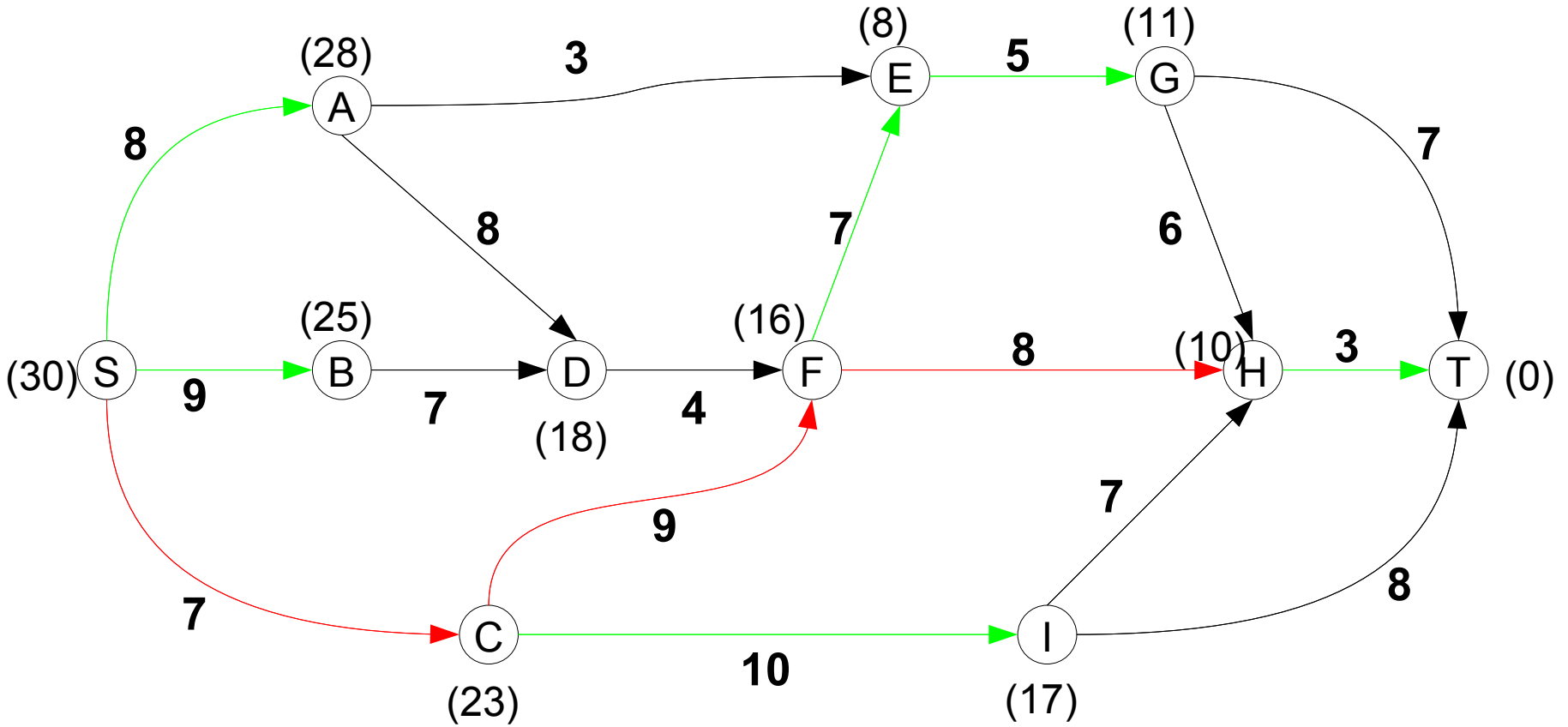


Τρέχουσα = H

Σύνολο = [G(11), I(17), B(25), A(28)]



Best-First

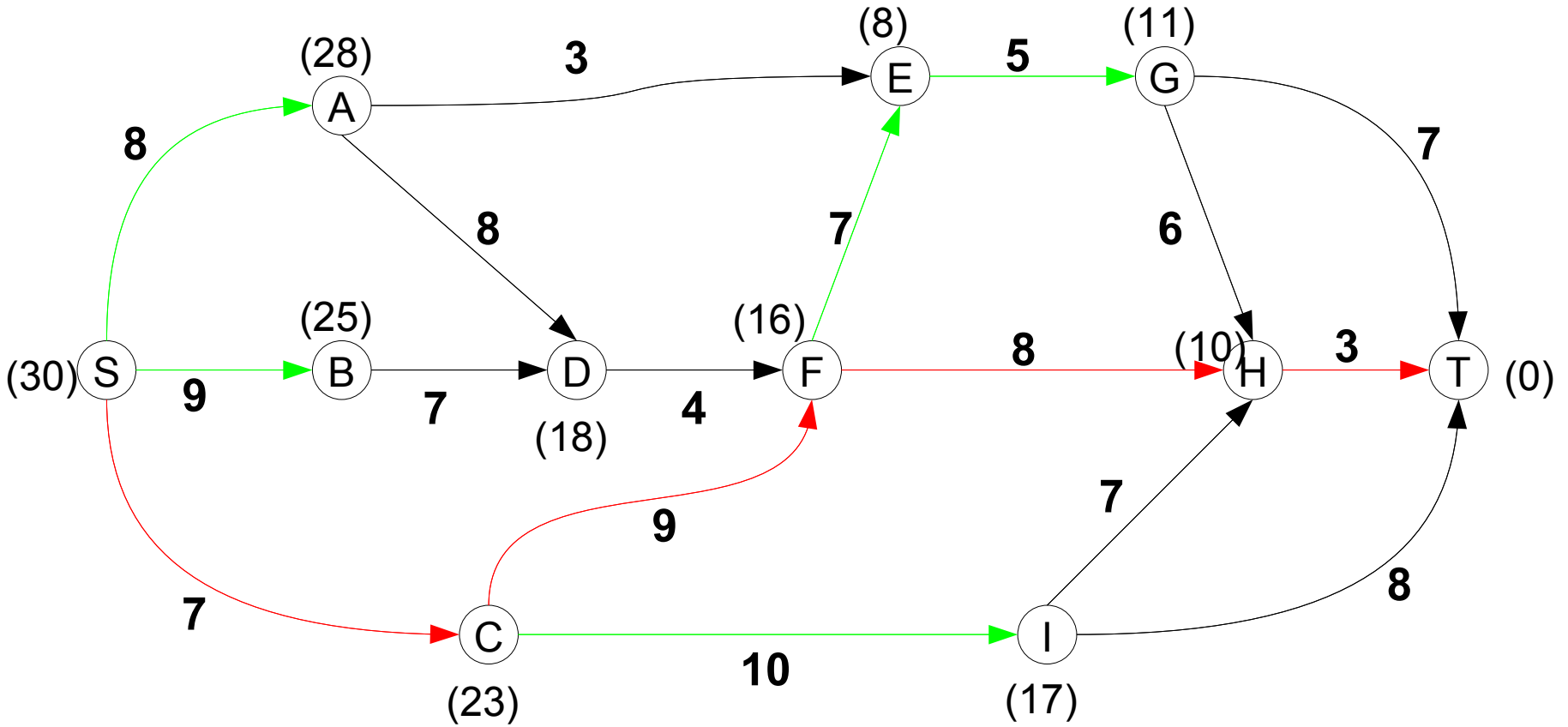


Τρέχουσα = H

Σύνολο = [T(0), G(11), I(17), B(25), A(28)]



Best-First

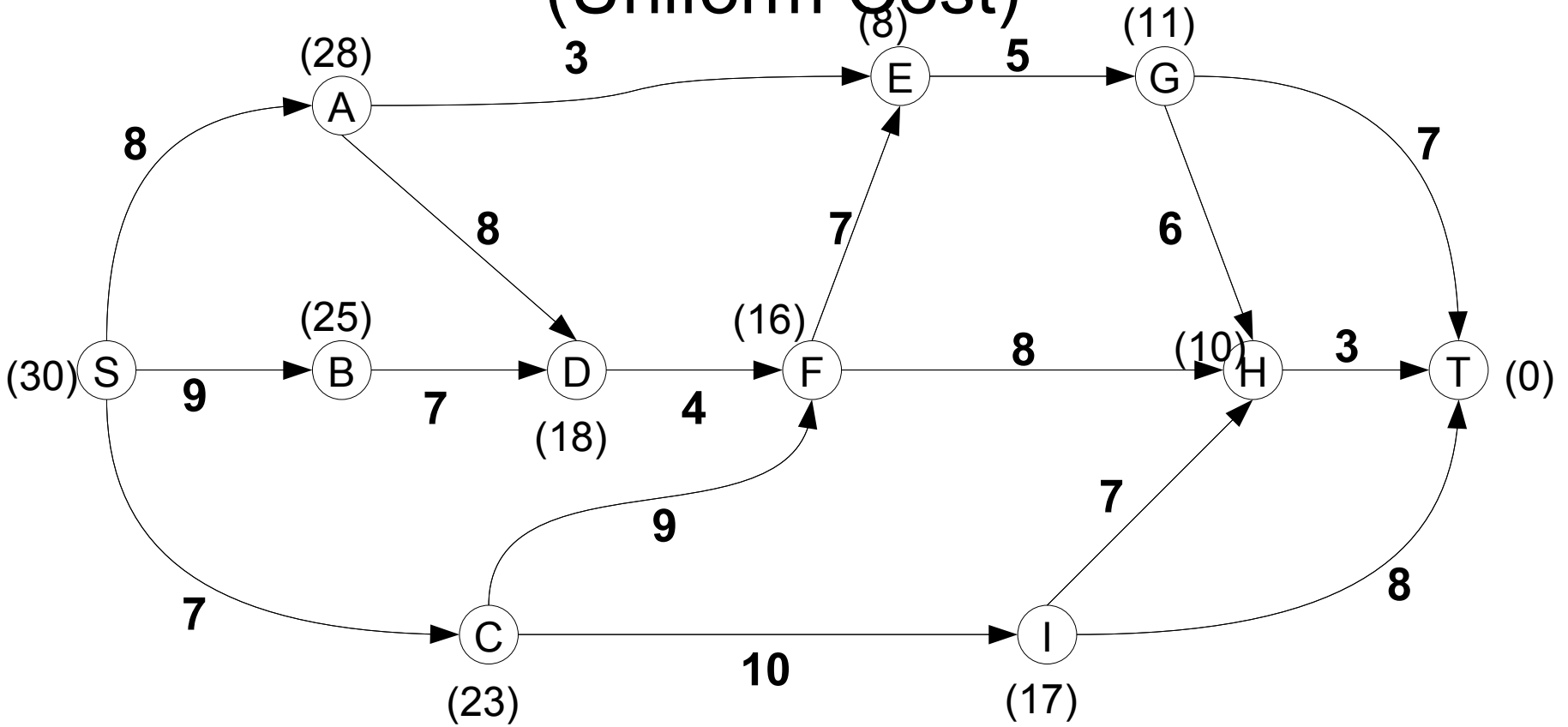


Τρέχουσα = T

Σύνολο = [G(11), I(17), B(25), A(28)]



Branch & Bound (Uniform Cost)



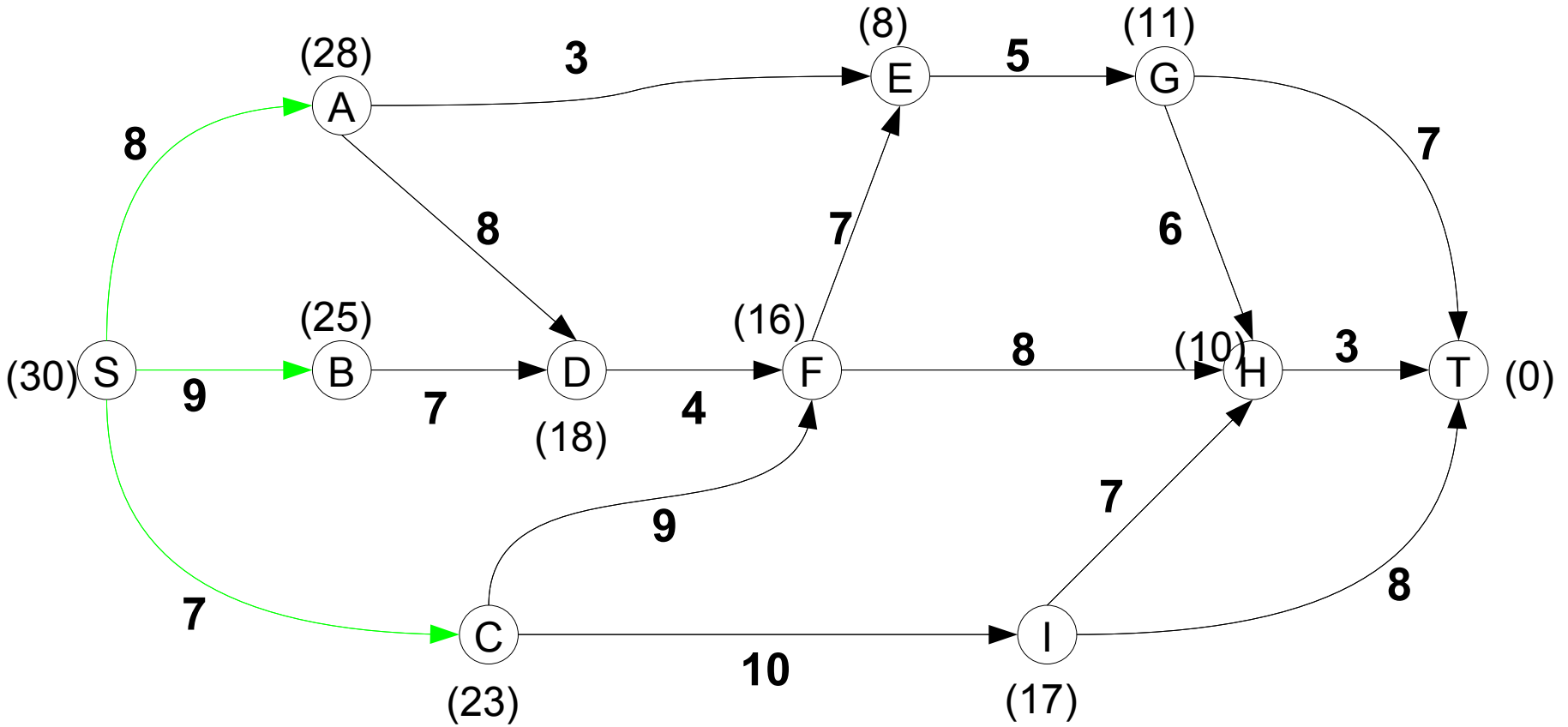
Τρέχουσα = S(0)

Σύνολο = []

Closed = []



Branch & Bound



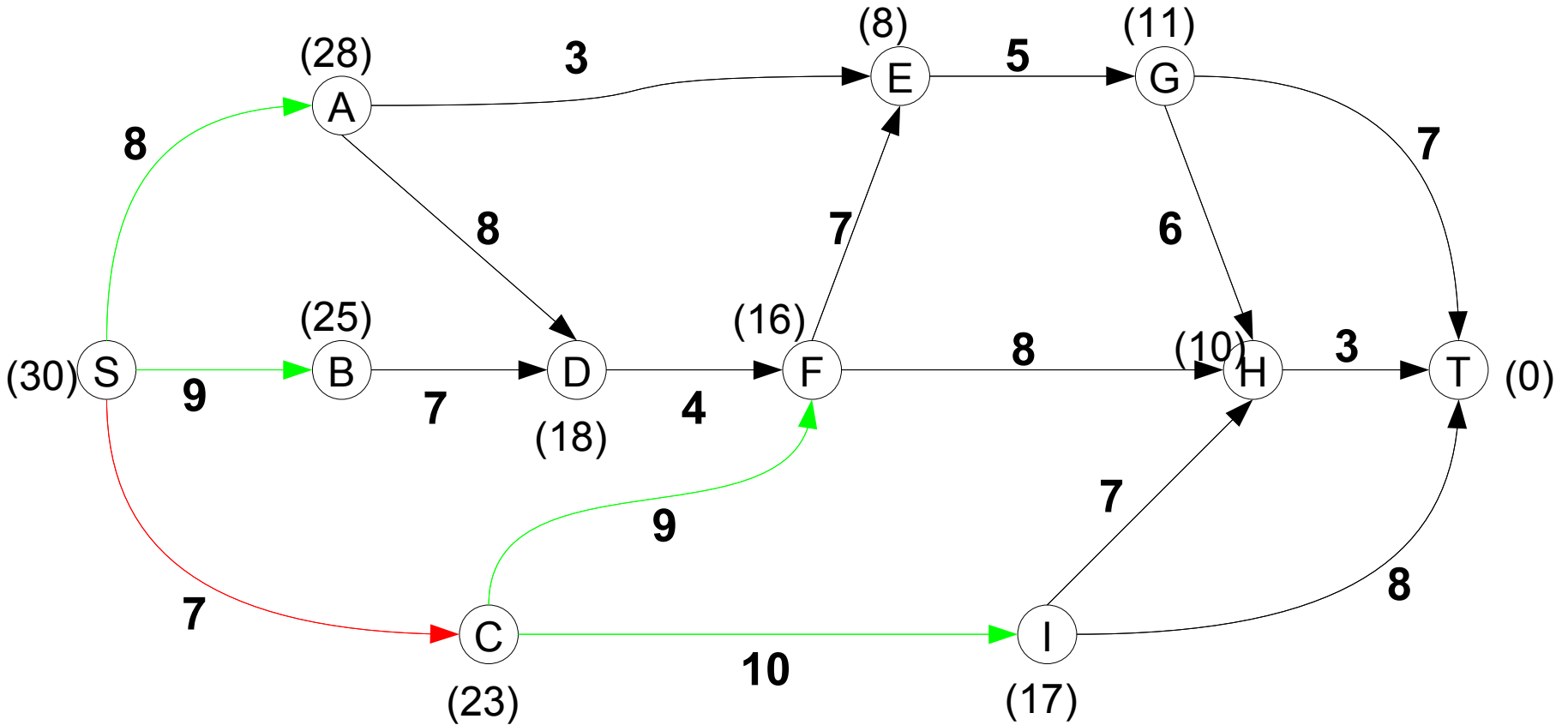
Τρέχουσα = S(0)

Σύνορο = [C(7),A(8),B(9)]

Closed = []



Branch & Bound



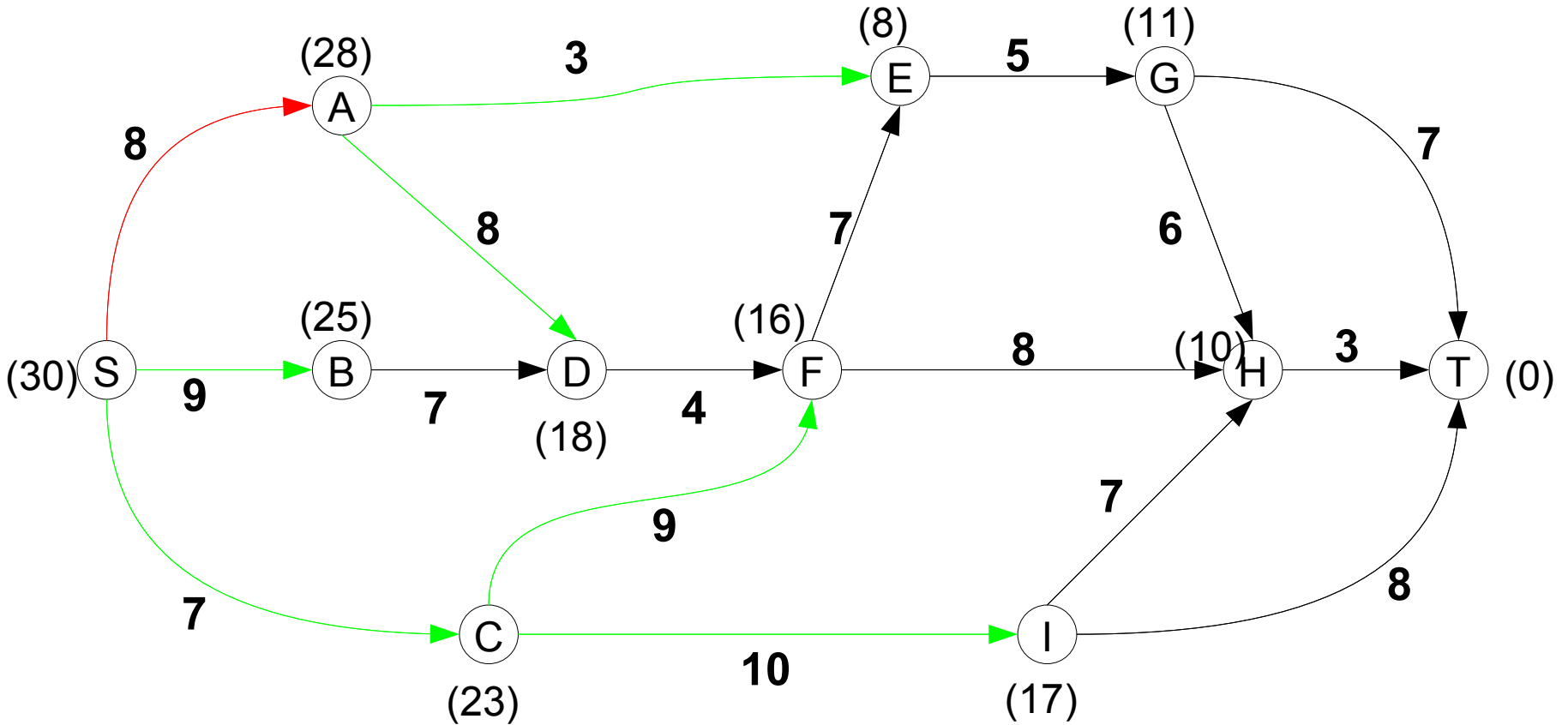
Τρέχουσα = C(7)

Σύνολο = [A(8),B(9),F(16),I(17)]

Closed = [S(0)]



Branch & Bound



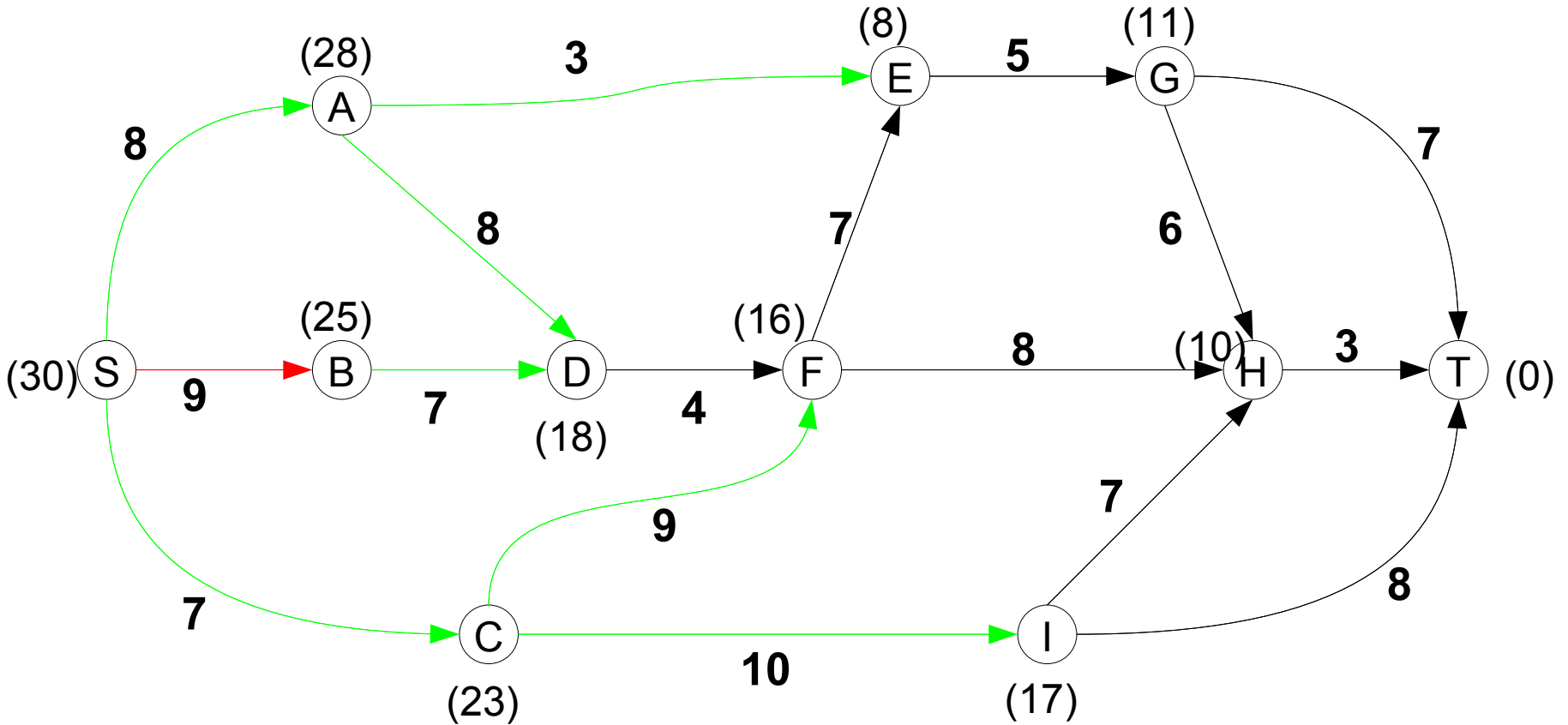
Τρέχουσα = A(8)

Σύνολο = [B(9),E(11),F(16),D(16),I(17)]

Closed = [S(0),C(7)]



Branch & Bound



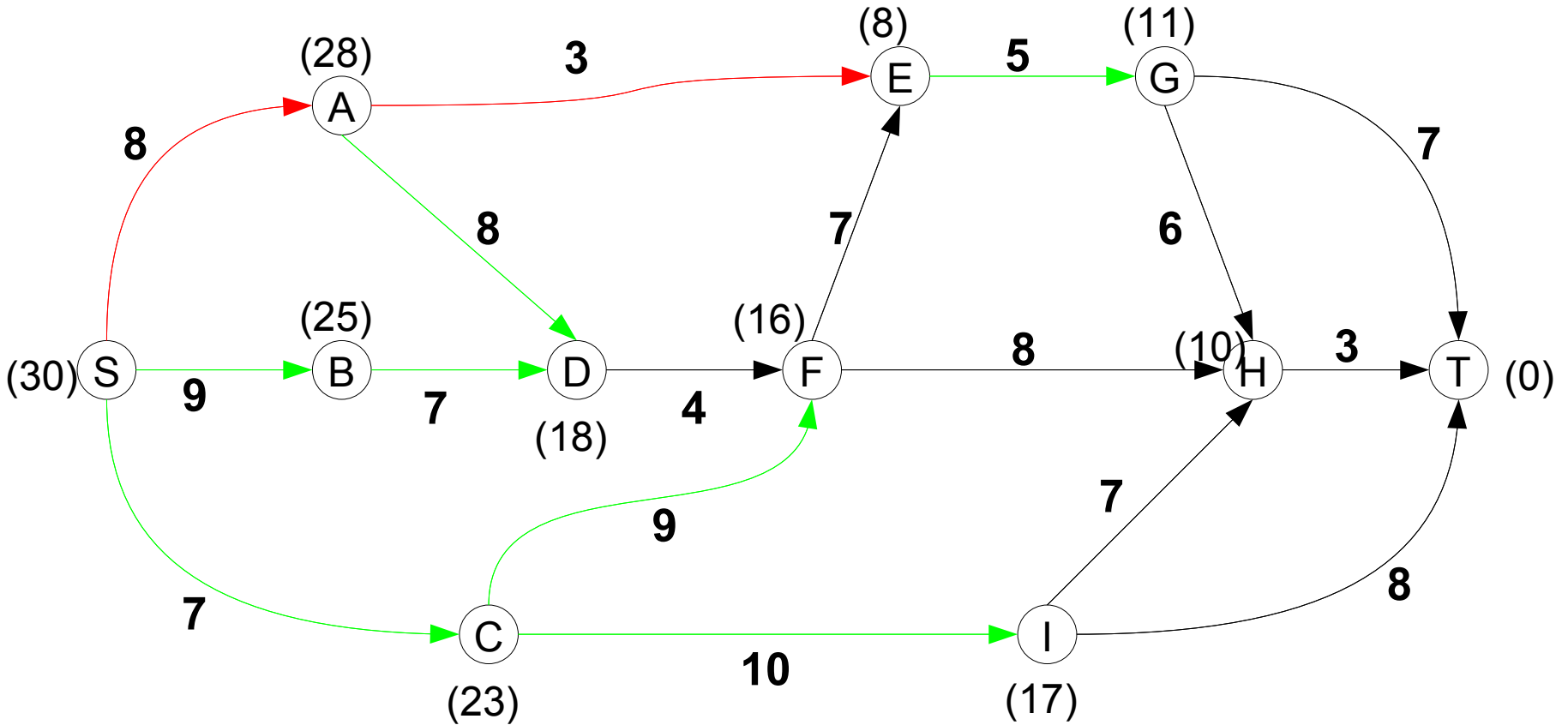
Τρέχουσα = B(9)

Σύνολο = [E(11), F(16), D^A(16), D^B(16), I(17)]

Closed = [S(0), C(7), A(8)]



Branch & Bound



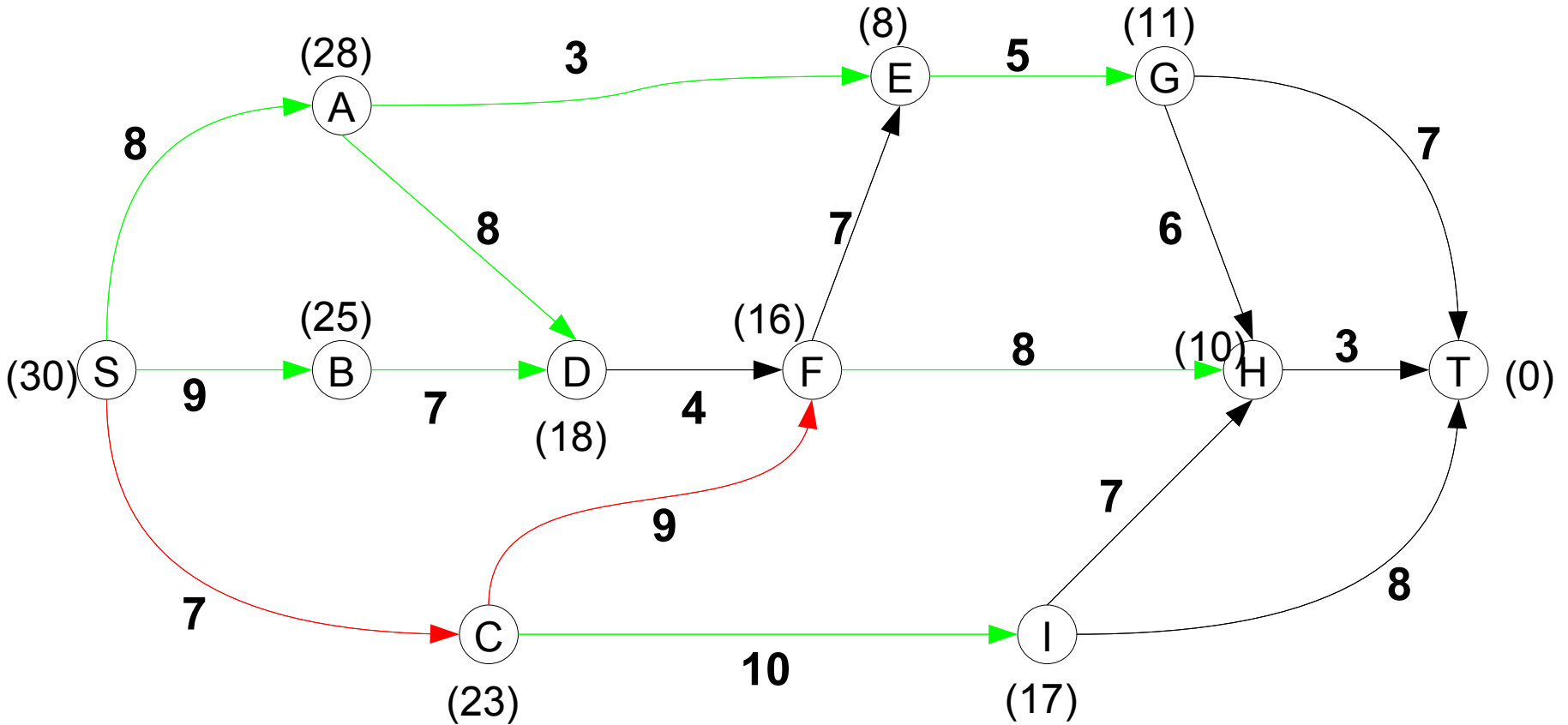
Τρέχουσα = E(11)

Σύνολο = [F(16), D^A(16), D^B(16), G(16), I(17)]

Closed = [S(0), C(7), A(8), B(9)]



Branch & Bound



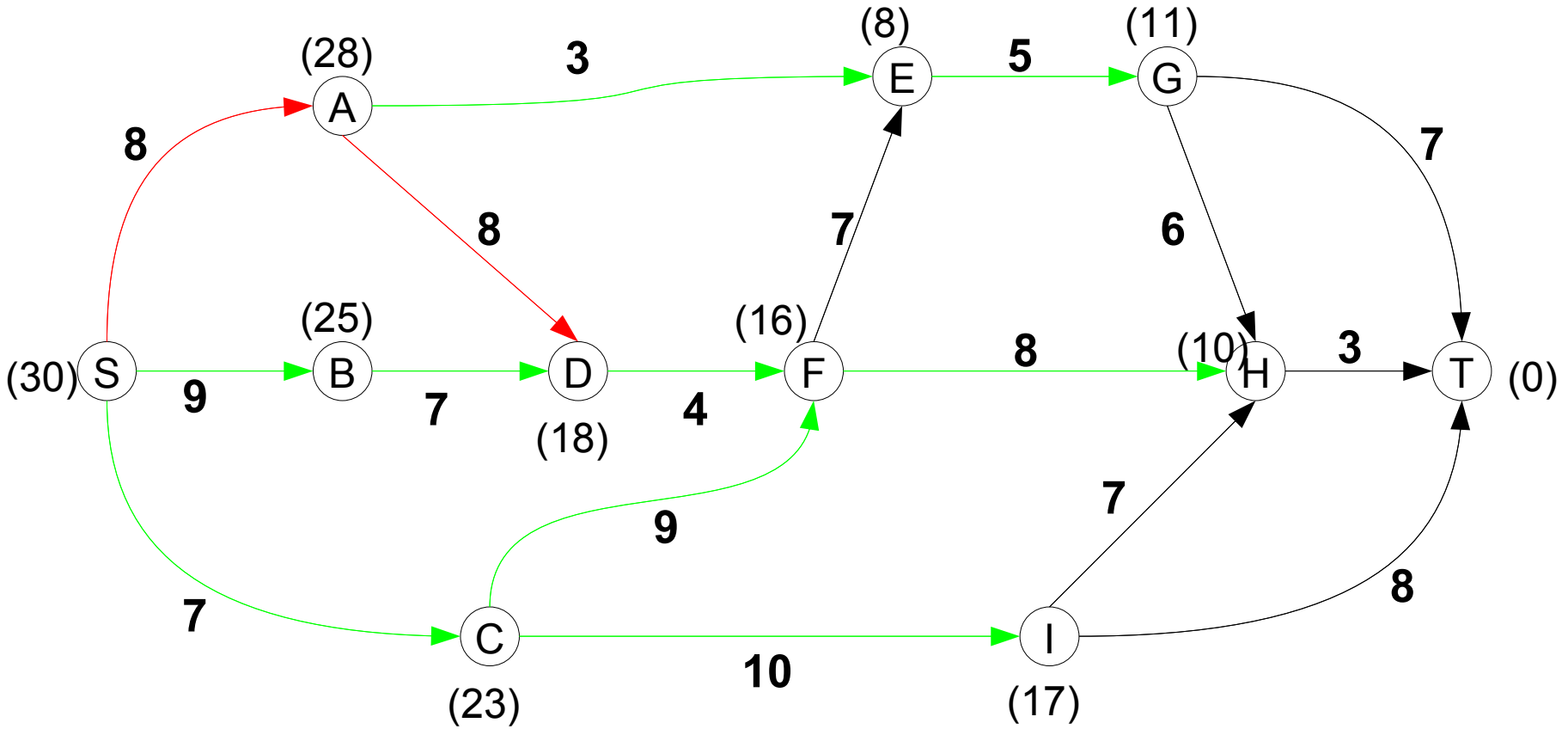
Τρέχουσα = F(16)

Σύνολο = [D^A(16), D^B(16), G(16), I(17), H(24)]

Closed = [S(0), C(7), A(8), B(9), E(11)] 4-103



Branch & Bound



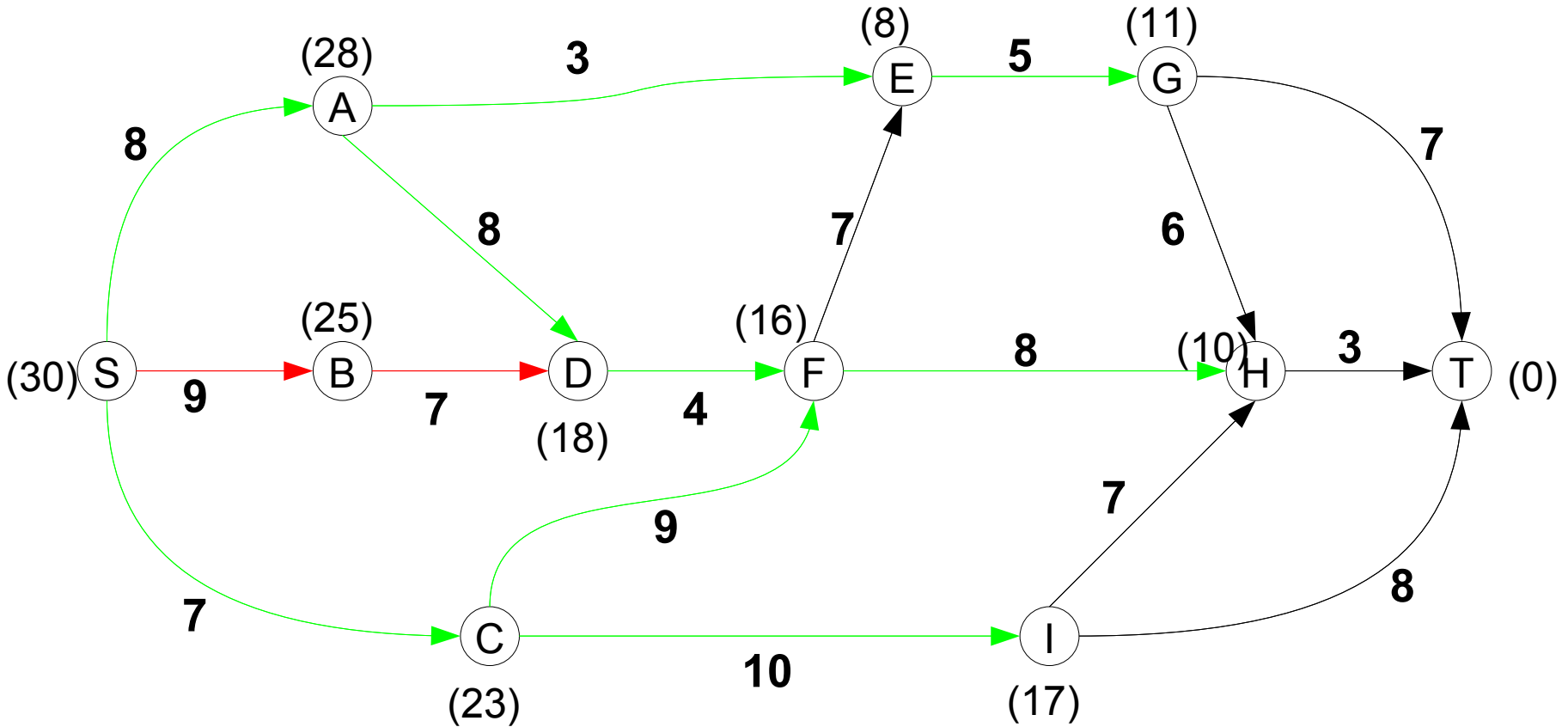
Τρέχουσα = $D^A(16)$

Σύνολο = $[D^B(16), G(16), I(17), F(20), H(24)]$

Closed = $[S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16)]$



Branch & Bound



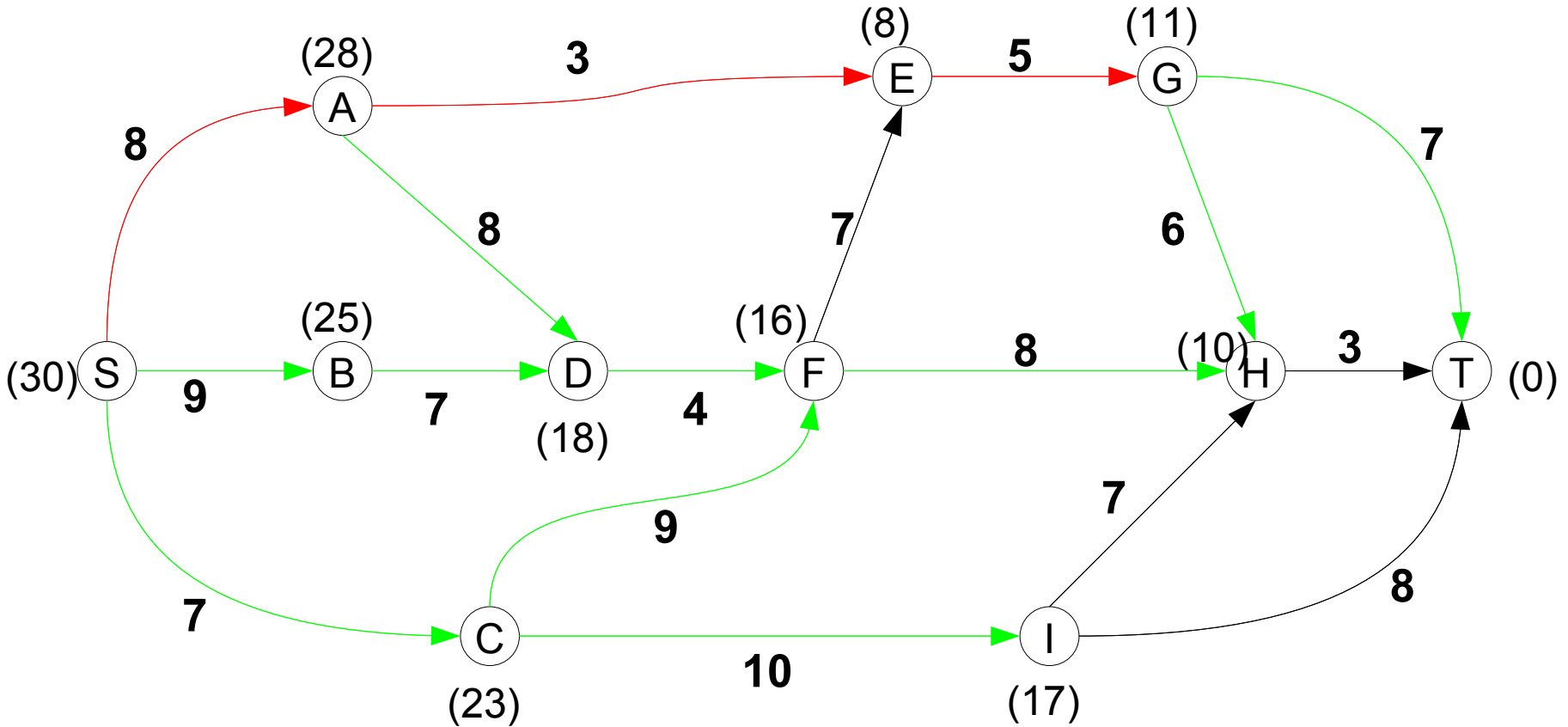
Τρέχουσα = $D^B(16)$

Σύνοπο = $[G(16), I(17), F^A(20), F^B(20), H(24)]$

Closed = $[S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16)]^5$



Branch & Bound



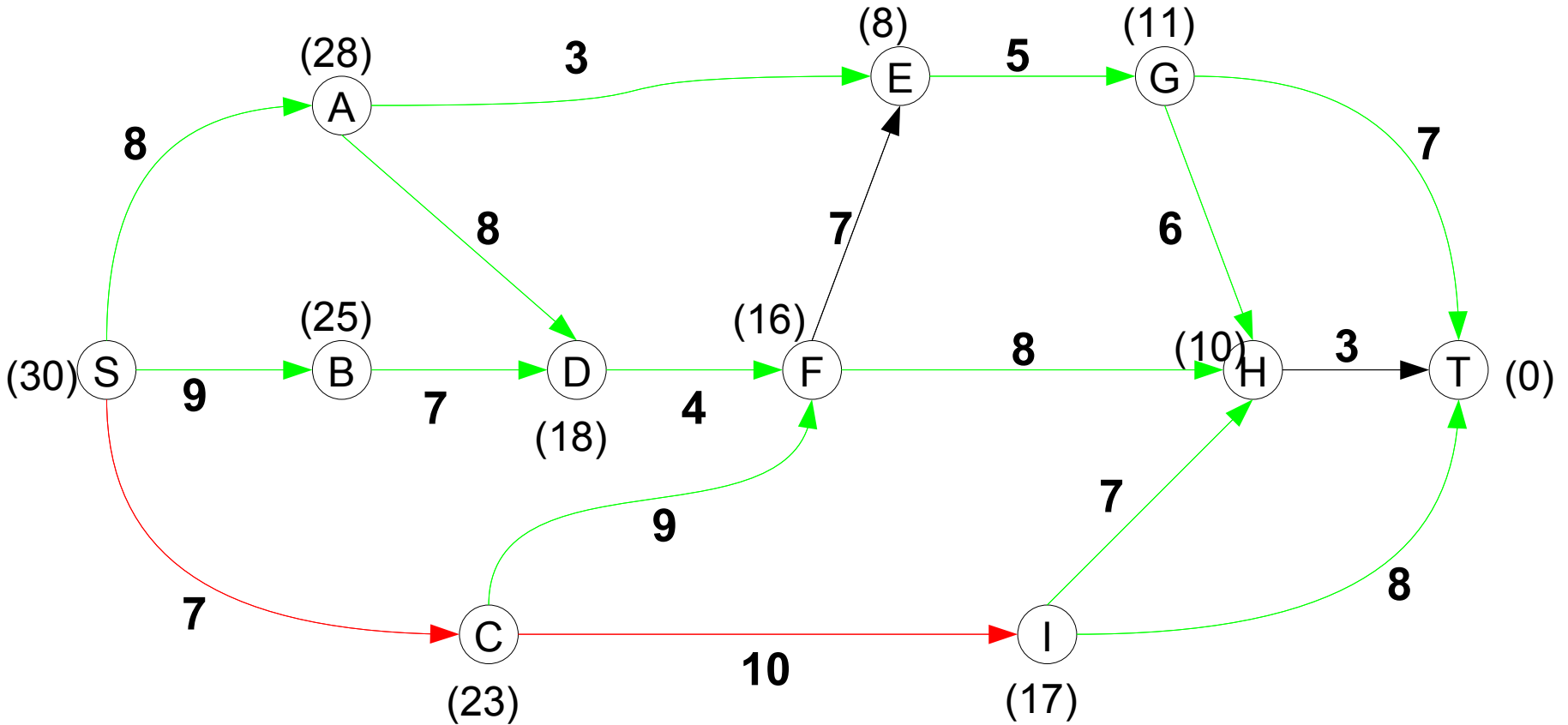
Τρέχουσα = G(16)

Σύνολο = [I(17), F^A(20), F^B(20), H^G(22), T(23), H^F(24)]

Closed = [S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16), D^B(16)]⁶



Branch & Bound



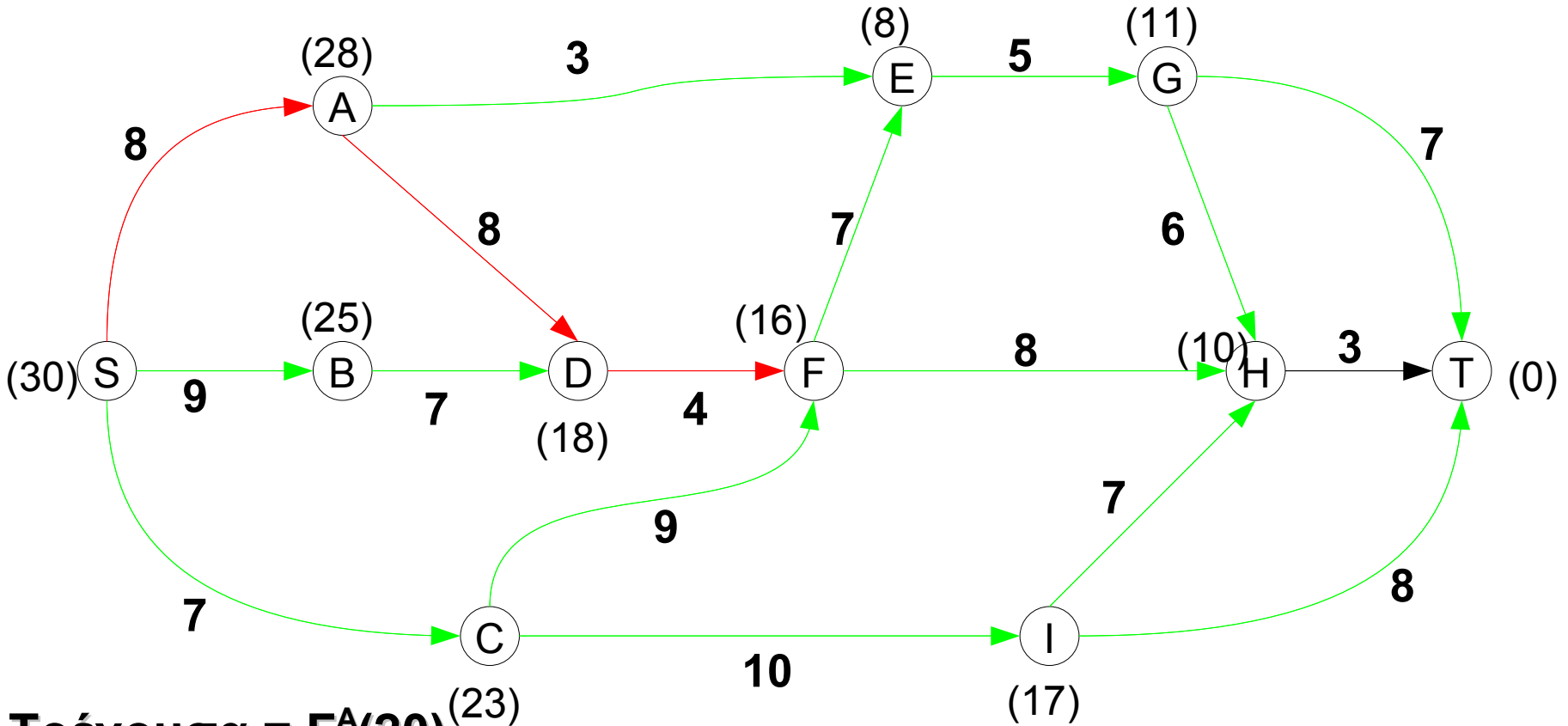
Τρέχουσα = I(17)

Σύνολο = [F^A(20), F^B(20), H^G(22), T^G(23), H^F(24), H^I(24), T^I(25)]

Closed = [S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16), D^B(16), G(16)]



Branch & Bound



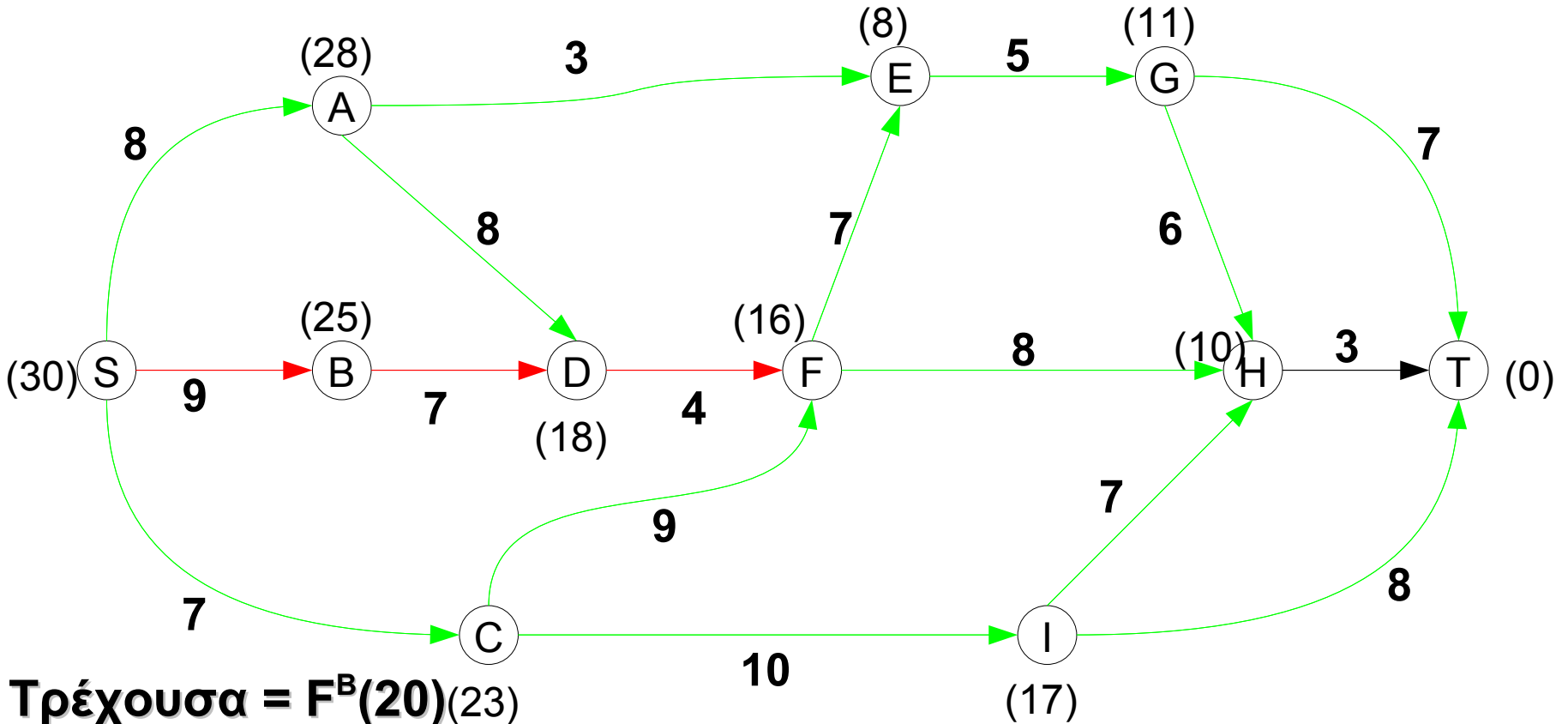
Τρέχουσα = $F^A(20)$

Σύνολο = $[F^B(20), H^G(22), T^G(23), H^F(24), H^I(24), T^I(25), E^A(27), H^A(28)]$

Closed = $[S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16), D^B(16), G(16), I(17)]$



Branch & Bound



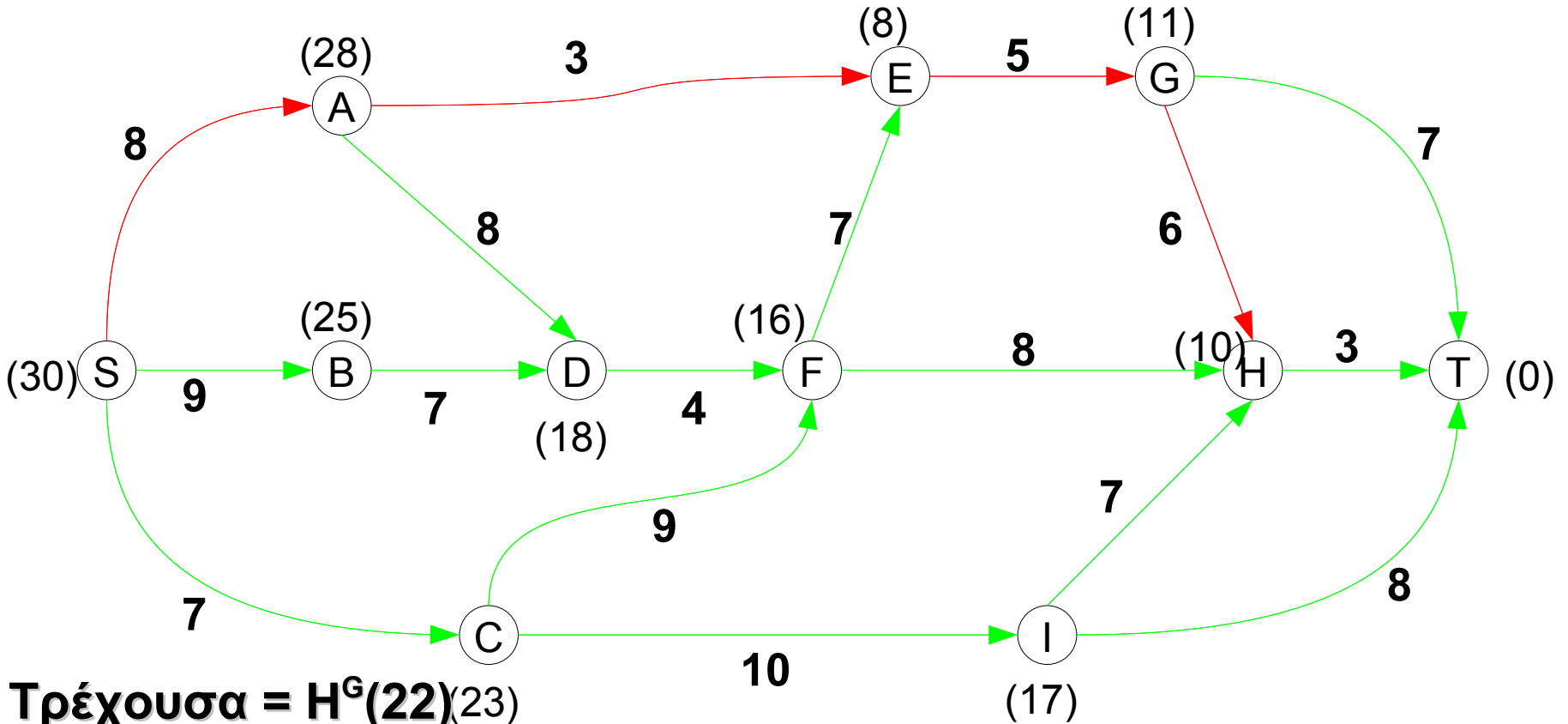
Τρέχουσα = F^B(20)(23)

Σ = [H^G(22), T^G(23), H^F(24), H^I(24), T^I(25), E^A(27), E^B(27), H^A(28), H^B(28)]

C = [S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16), D^B(16), G(16), I(17), F^A(20)]



Branch & Bound



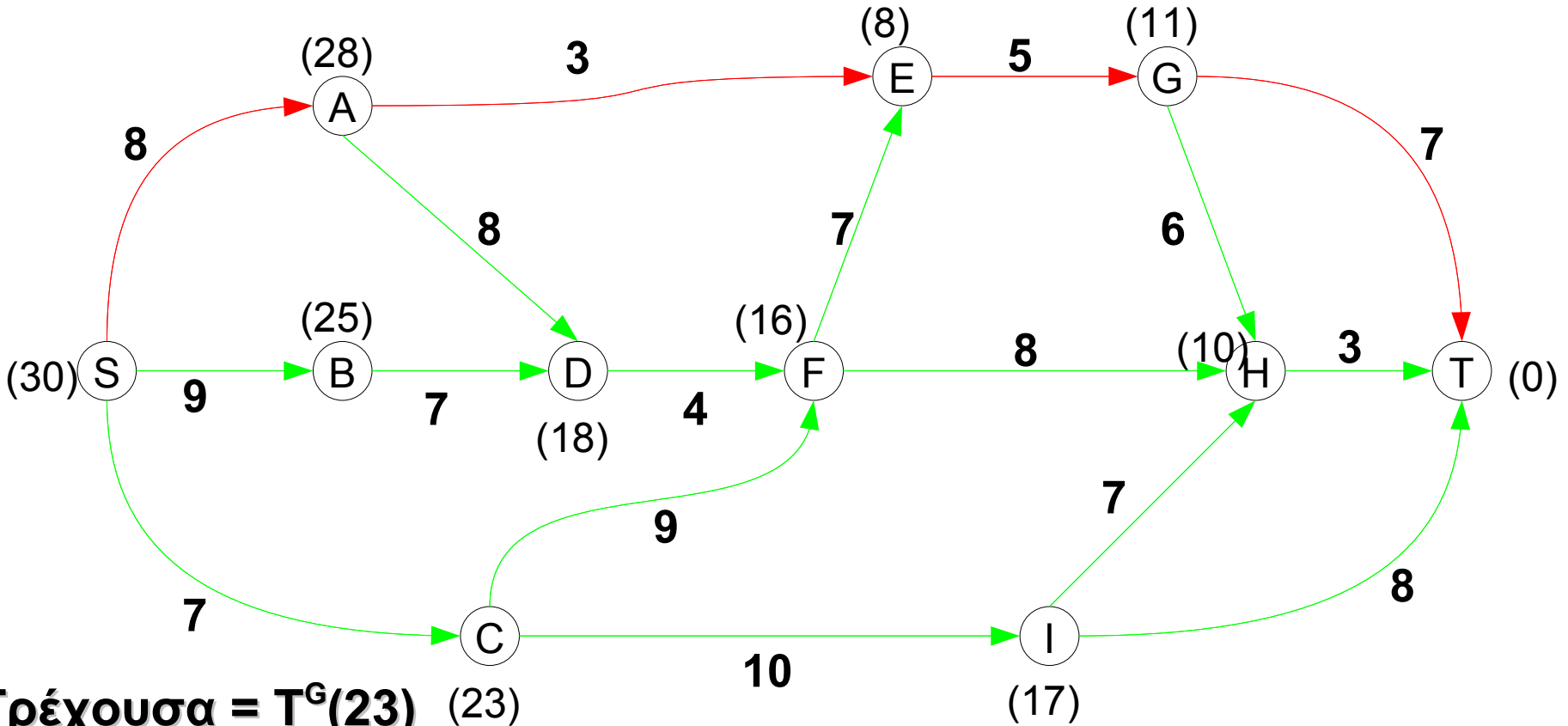
Τρέχουσα = H^G(22)(23)

$\Sigma = [T^G(23), H^F(24), H^I(24), T^I(25), T^H(25), E^A(27), E^B(27), H^A(28), H^B(28)]$

$C = [S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16), D^B(16), G(16), I(17), F^A(20), F^B(20)]$



Branch & Bound



Τρέχουσα = $T^G(23)$ (23)

Σύνολο = $[H^F(24), H^I(24), T^I(25), T^H(25), E^A(27), E^B(27), H^A(28), H^B(28)]$

$C = [S(0), C(7), A(8), B(9), E(11), F(16), D^A(16), D^B(16), G(16), I(17), F^A(20), F^B(20), H^G(22)]$



A* **(Βελτιωμένη Branch & Bound με Δυναμικό Προγραμματισμό)**

**για να βρει τη βέλτιστη λύση,
η συνάρτηση εκτίμησης πρέπει να είναι
παραδεκτή (admissible)**

**αν είναι και συνεπής (consistent) μπορούμε να
απορρίπτουμε κόμβους που ξανασυναντάμε
χωρίς να ελέγχουμε το κόστος τους**



Admissible = ΠΟΤΕ να μην υπερεκτιμά την απόσταση από τον στόχο

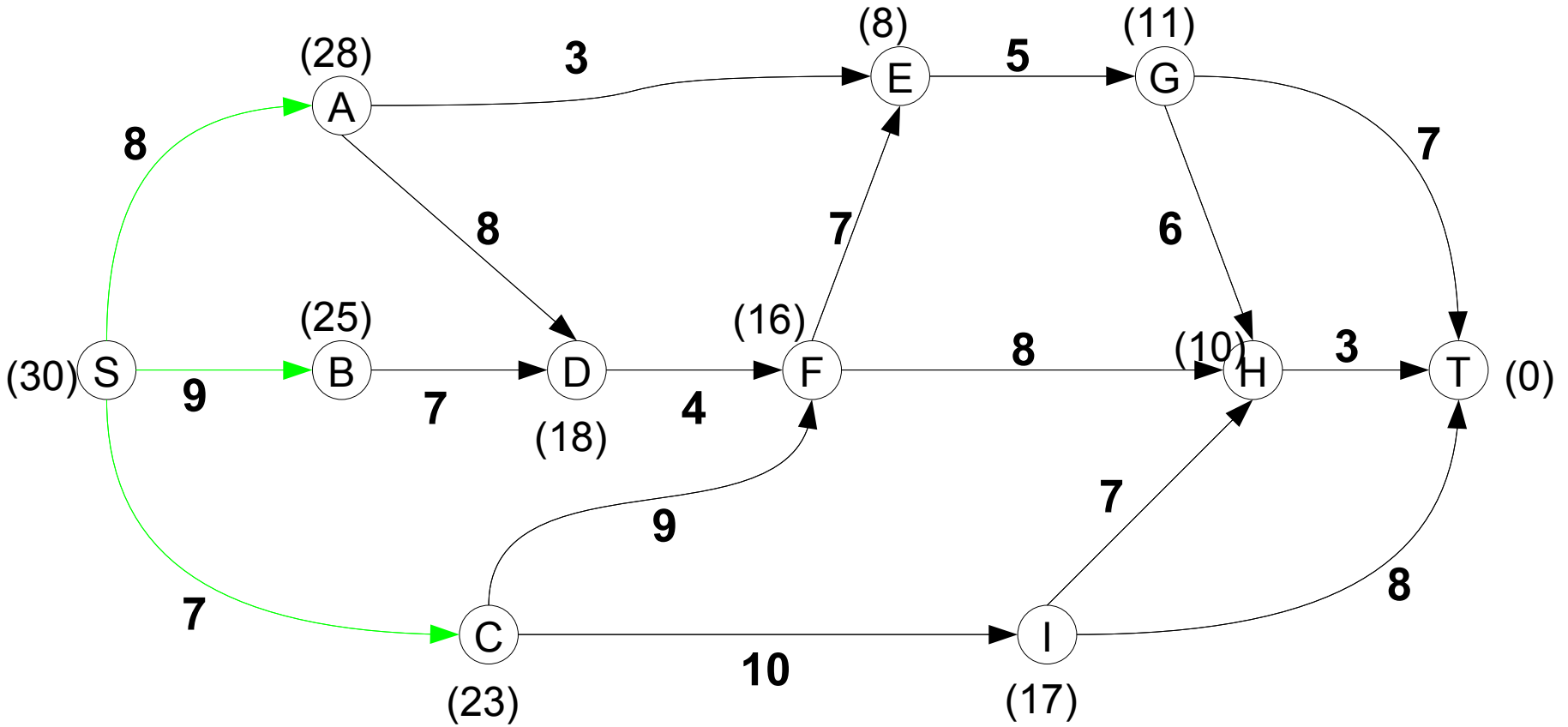
ΙΔΑΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ
(εκτιμά ακριβώς την απόσταση, τελικό κόστος, κλπ)

Συνάρτηση που υποεκτιμά
βρίσκει τη βέλτιστη λύση,
απλά καθυστερεί λίγο

Συνάρτηση που υπερεκτιμά
δεν βρίσκει σίγουρα τη βέλτιστη λύση,
επειδή ο A^* σταματά την πρώτη φορά
που θα συναντήσει τον κόμβο στόχο



A*



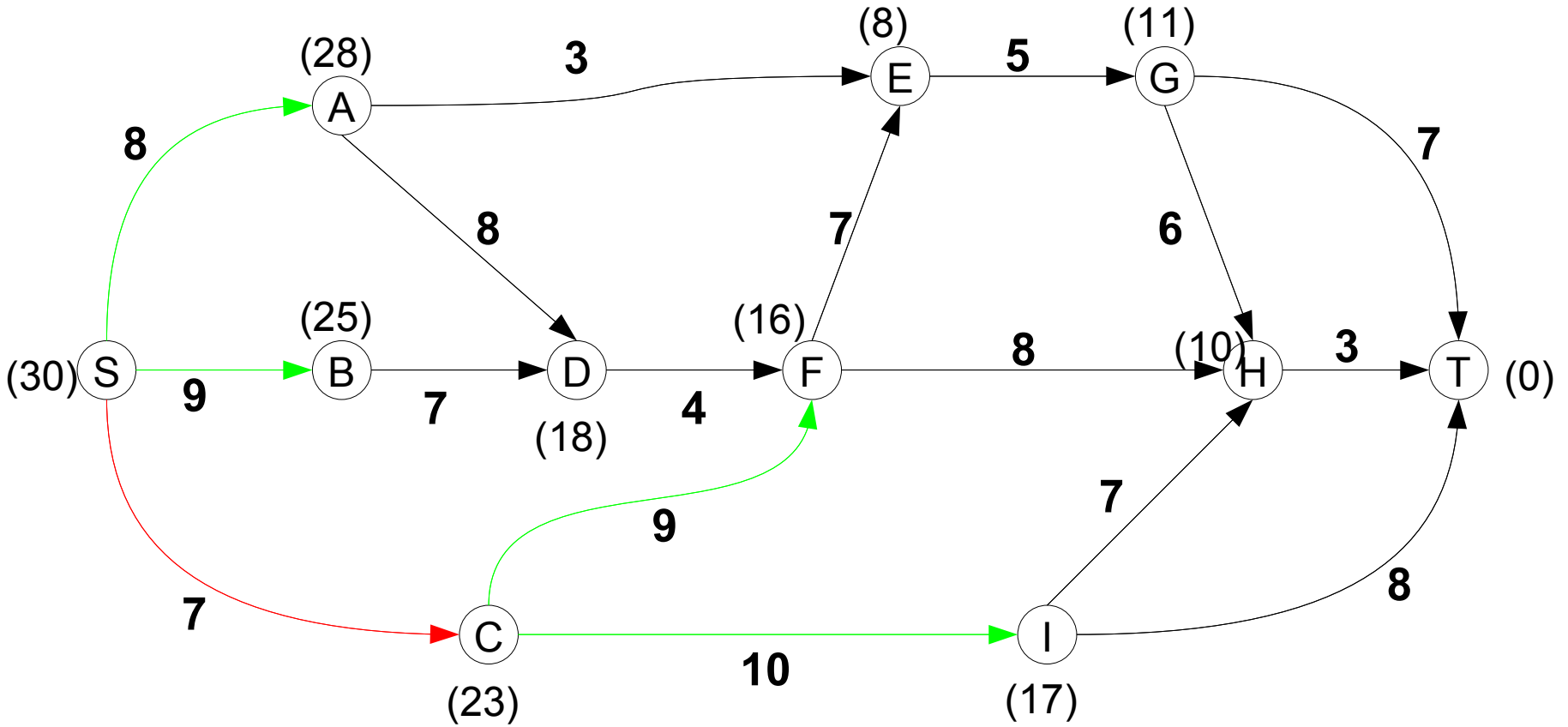
Τρέχουσα = S(30)

Σύνολο = [C(7+23=30), B(9+25=34), A(8+28=36)]

Closed = []



A*



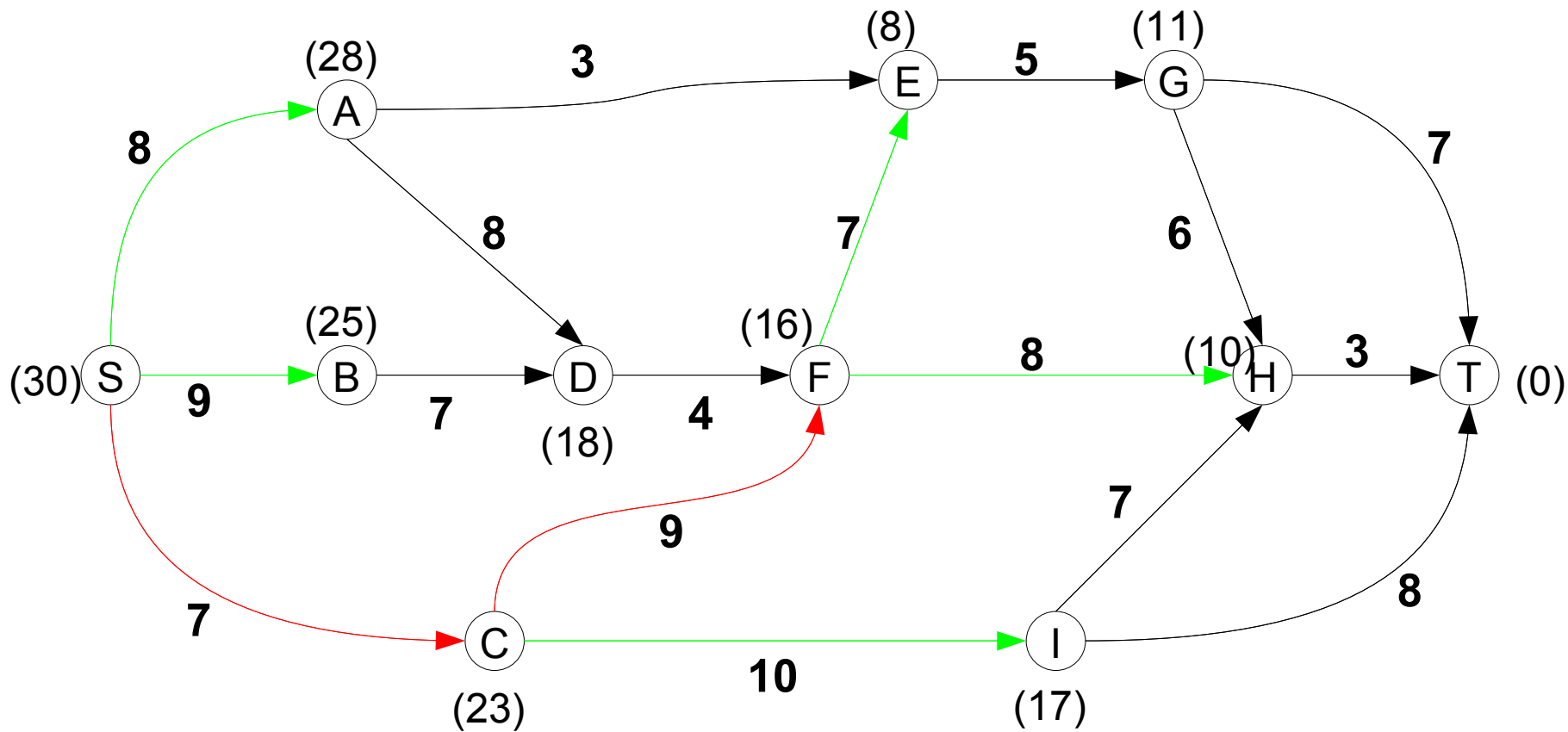
Τρέχουσα = C(7+23)

Σύνορο = [F(32),B(34),I(34),A(36)]

Closed = [S(30)]



A*



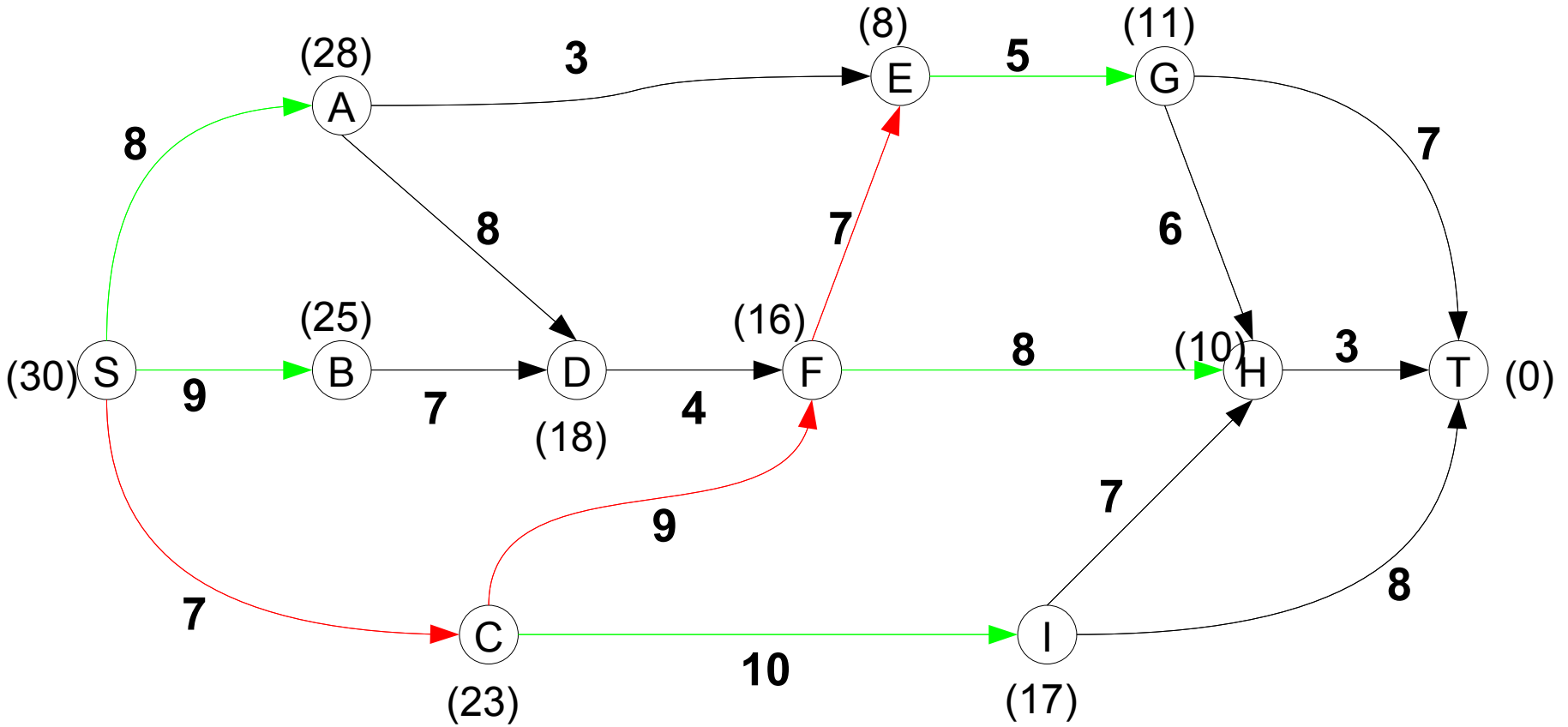
Τρέχουσα = F(16+16)

Σύνολο = [E(31),B(34),I(34),H(34),A(36)]

Closed = [S(30),C(30)]



A*



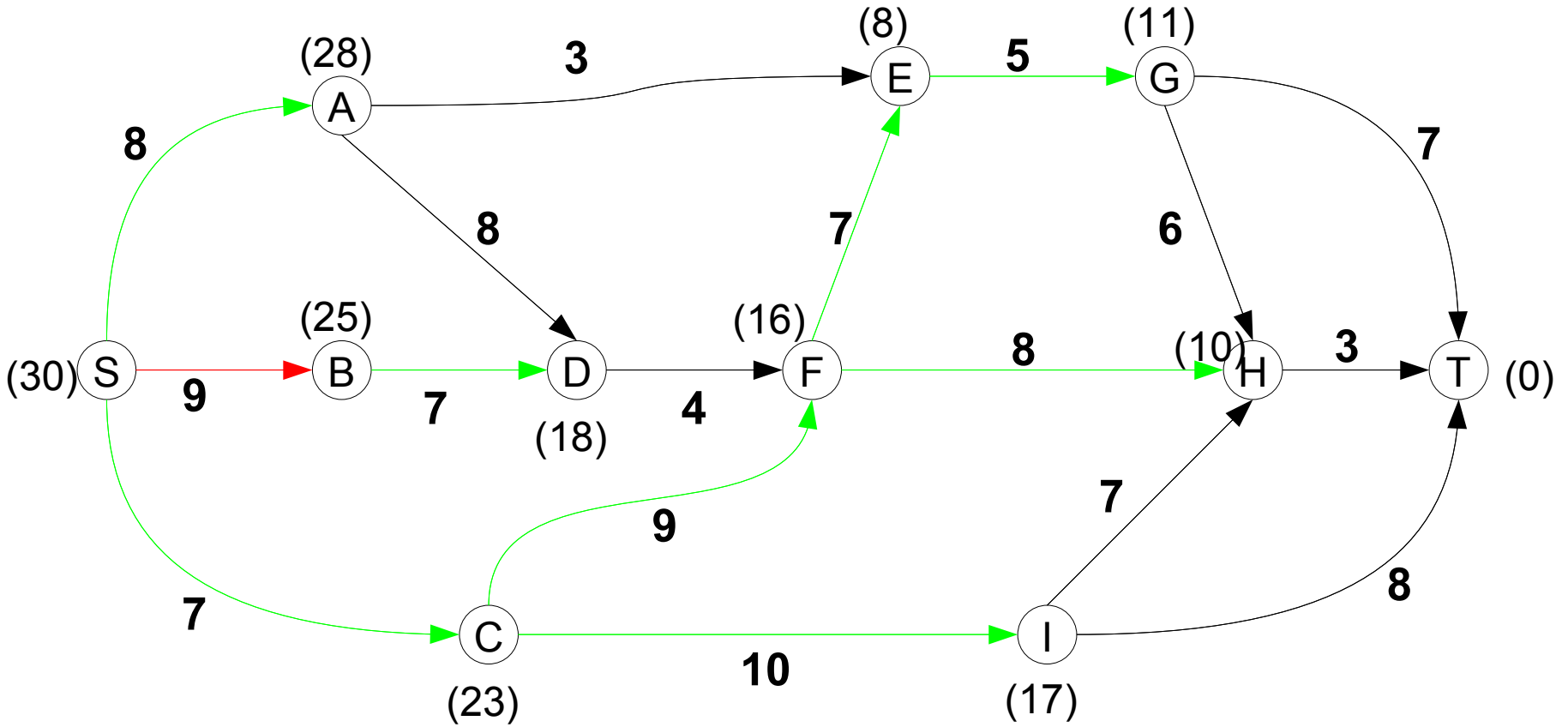
Τρέχουσα = E(23+8)

Σύνολο = [B(34),I(34),H(34),A(36),G(38)]

Closed = [S(30),C(30),F(32)]



A*



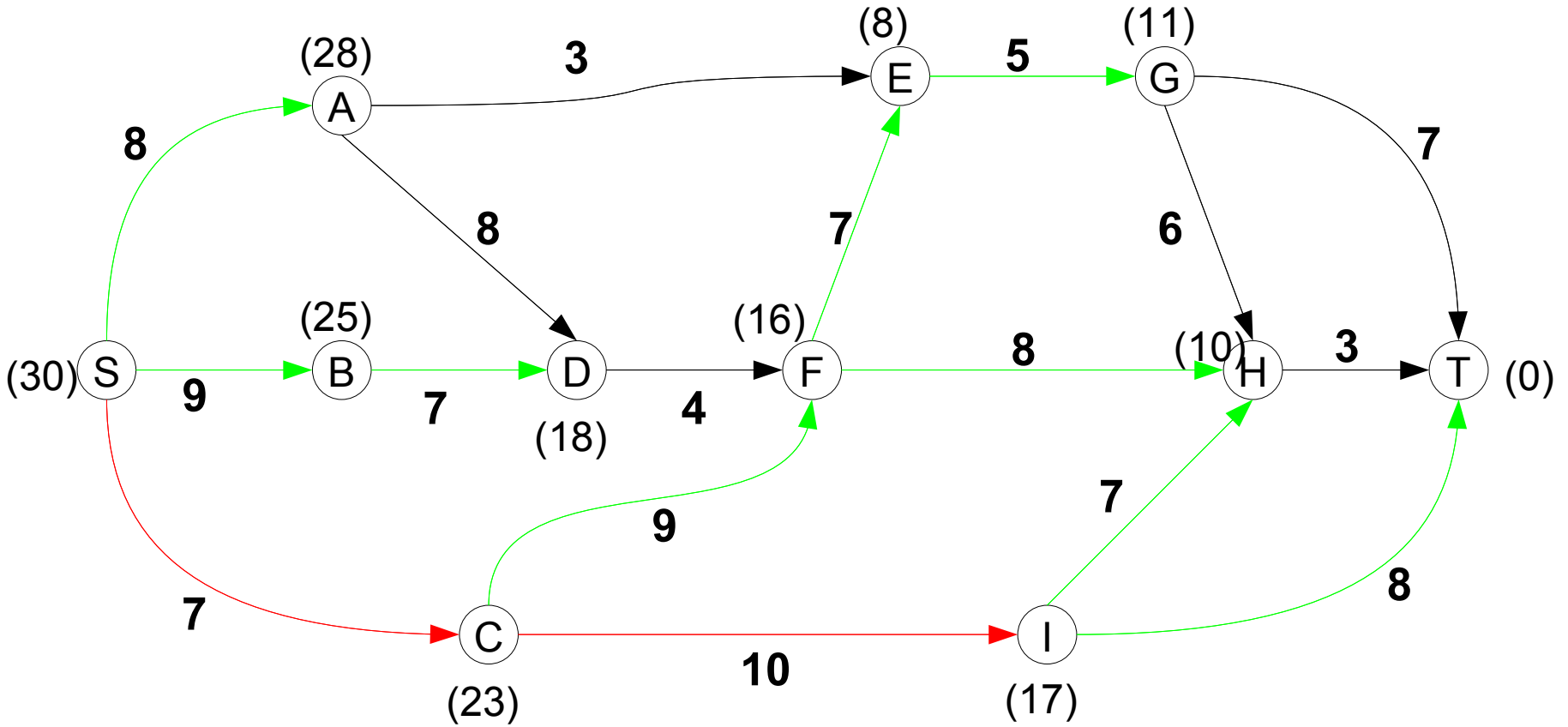
Τρέχουσα = B(9+25)

Σύνολο = [I(34),H(34),D(34),A(36),G(38)]

Closed = [S(30),C(30),F(32),E(31)]



A*



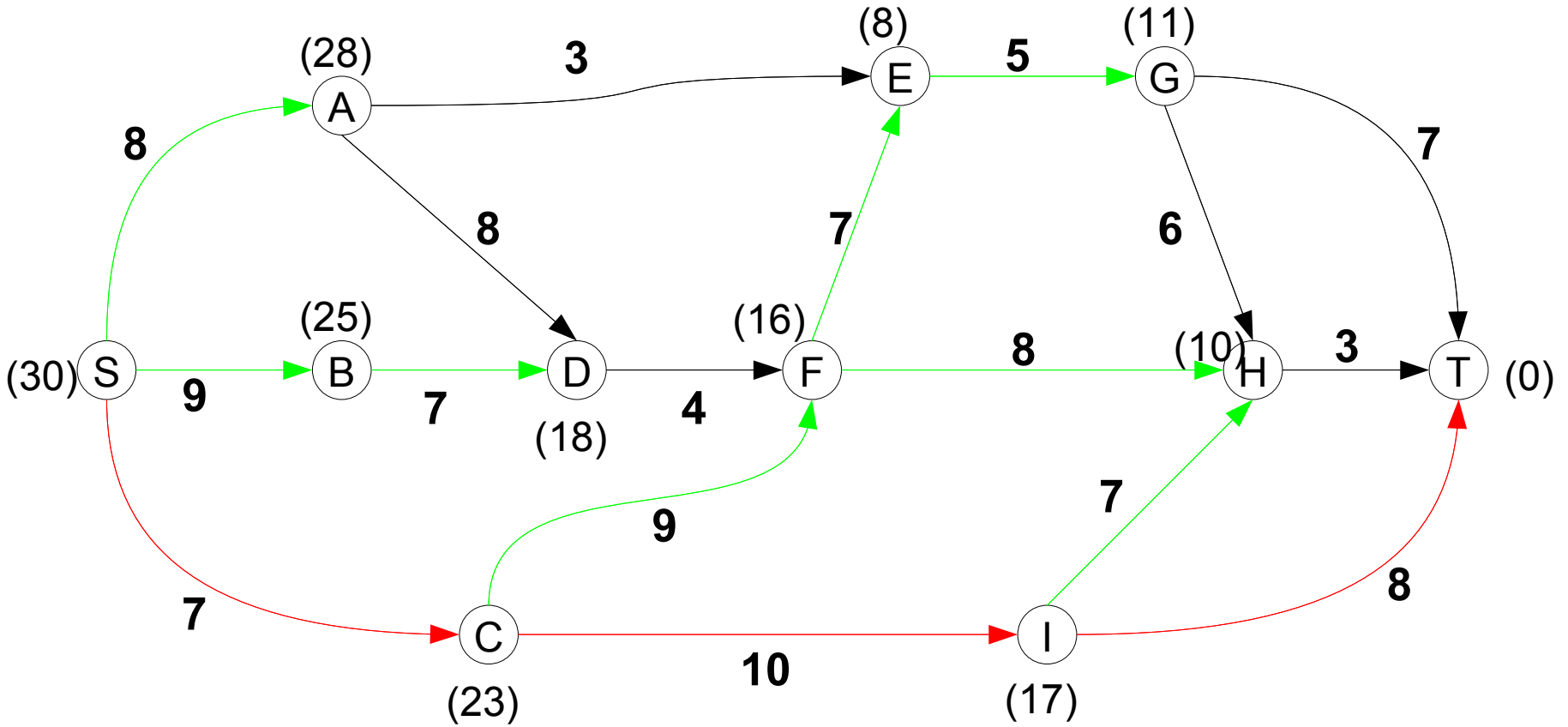
Τρέχουσα = I(17+17)

Σύνορο = [T(25),H(34),D(34),{H(34)},A(36),G(38)]

Closed = [S(30),C(30),F(32),E(31),B(34)]



A*



Τρέχουσα = T(25)

Σύνορο = [H(34),D(34),A(36),G(38)]

Closed = [S(30),C(30),F(32),E(31),B(34),I(34)]¹²⁰



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση **1.0** διαθέσιμη [εδώ](#).

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, **Σγάρμπας Κυριάκος**. «**Τεχνητή Νοημοσύνη I, Πληροφορημένη Αναζήτηση και Εξερεύνηση**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2014**. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

https://eclass.upatras.gr/modules/course_metadata/opencourses.php?fc=15

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων: