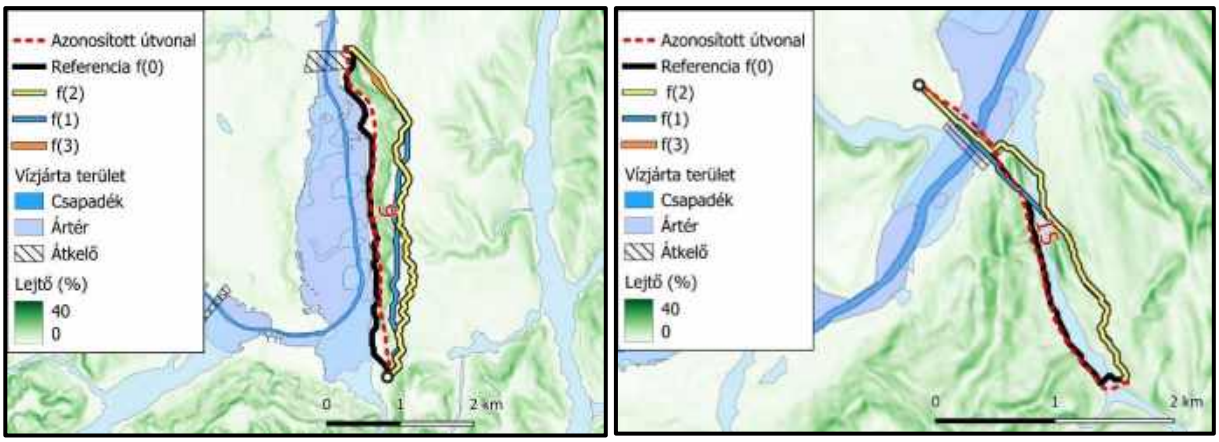
Függelék

1. melléklet: Legjobban teljesítő kiinduló $f(0)$ költségfüggvény esetek (9 és 15. sz. azonosított út)



2. melléklet: a paraméterezett költségfüggvény

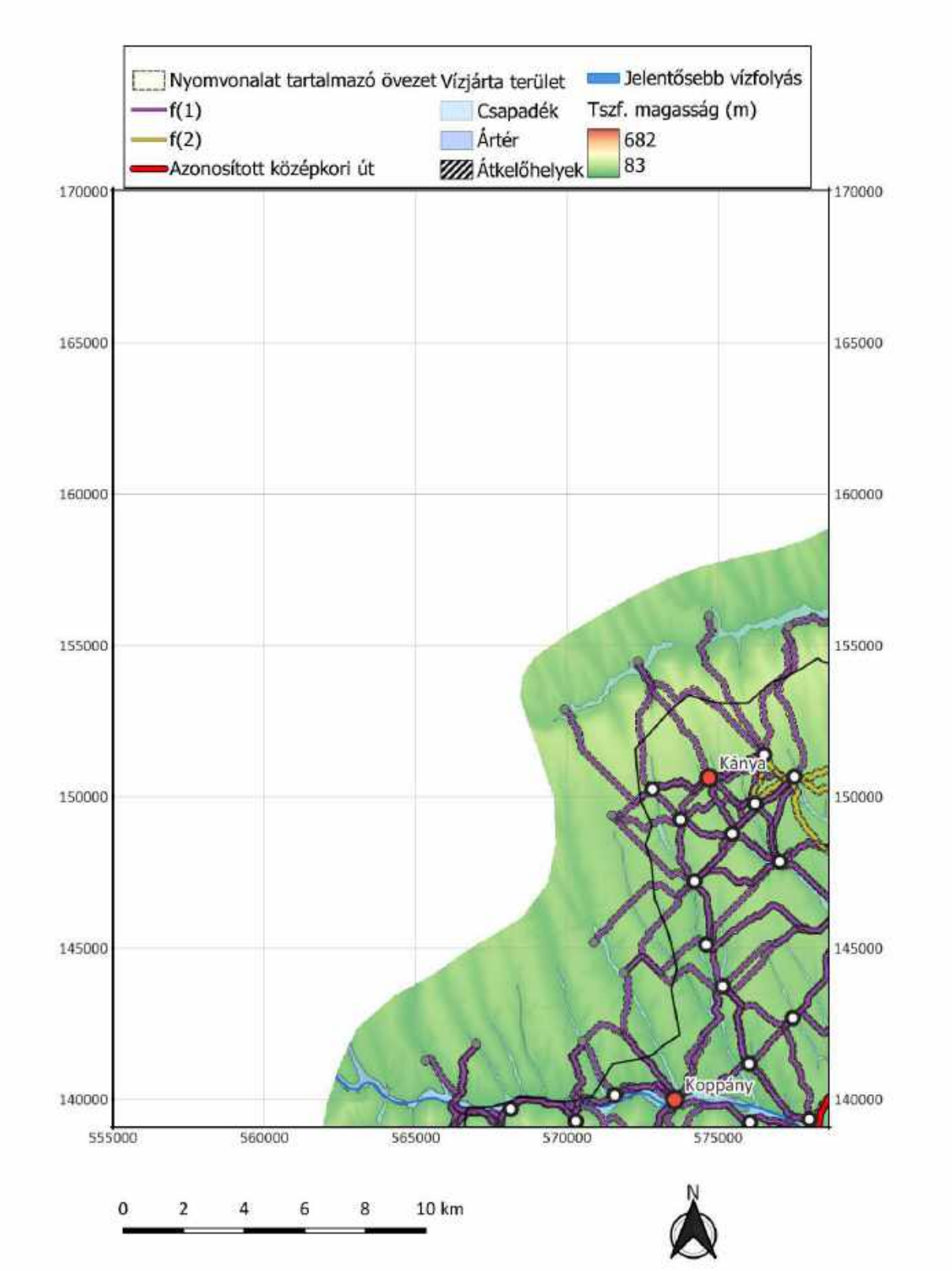
```
def calculate_cost_raster(
    slope_layer,
    cost_layer,
    barrier_layer=None,
    i=0,
    critical_slope=8,
    power=2,
    elevation_weight=0,
    cost_path="E:/temp/cost_raster.tif",
    addmap=False,
):
    entries = []
    # Lejtőmodell hozzáadása a költségszámításhoz
    slope_entry = QgsRasterCalculatorEntry()
    slope_entry.ref = 'slope@1'
    slope_entry.raster = slope_layer
    slope_entry.bandNumber = 1
    entries.append(slope_entry)

    # Vízrajz hozzáadása a költségszámításhoz
    cost1_entry = QgsRasterCalculatorEntry()
    cost1_entry.ref = 'cost@1'
    cost1_entry.raster = cost_layer
    cost1_entry.bandNumber = 1
    entries.append(cost1_entry)

    # Határoló réteg hozzáadása a költségszámításhoz
    barrier_layer:
    barrier_entry = QgsRasterCalculatorEntry()
    barrier_entry.ref = 'barrier@1'
    barrier_entry.raster = barrier_layer
    barrier_entry.bandNumber = 1
    entries.append(barrier_entry)

    Költségfüggvény
    formula = f" 1 + cost@1 + barrier@1 + min(((slope@1)) * {elevation_weight}, 5) +
                ((slope@1) / {critical_slope}) ^ {power} "
```

3. melléklet: Alkalmazott A* útkereső algoritmus egyszerűsített verziója

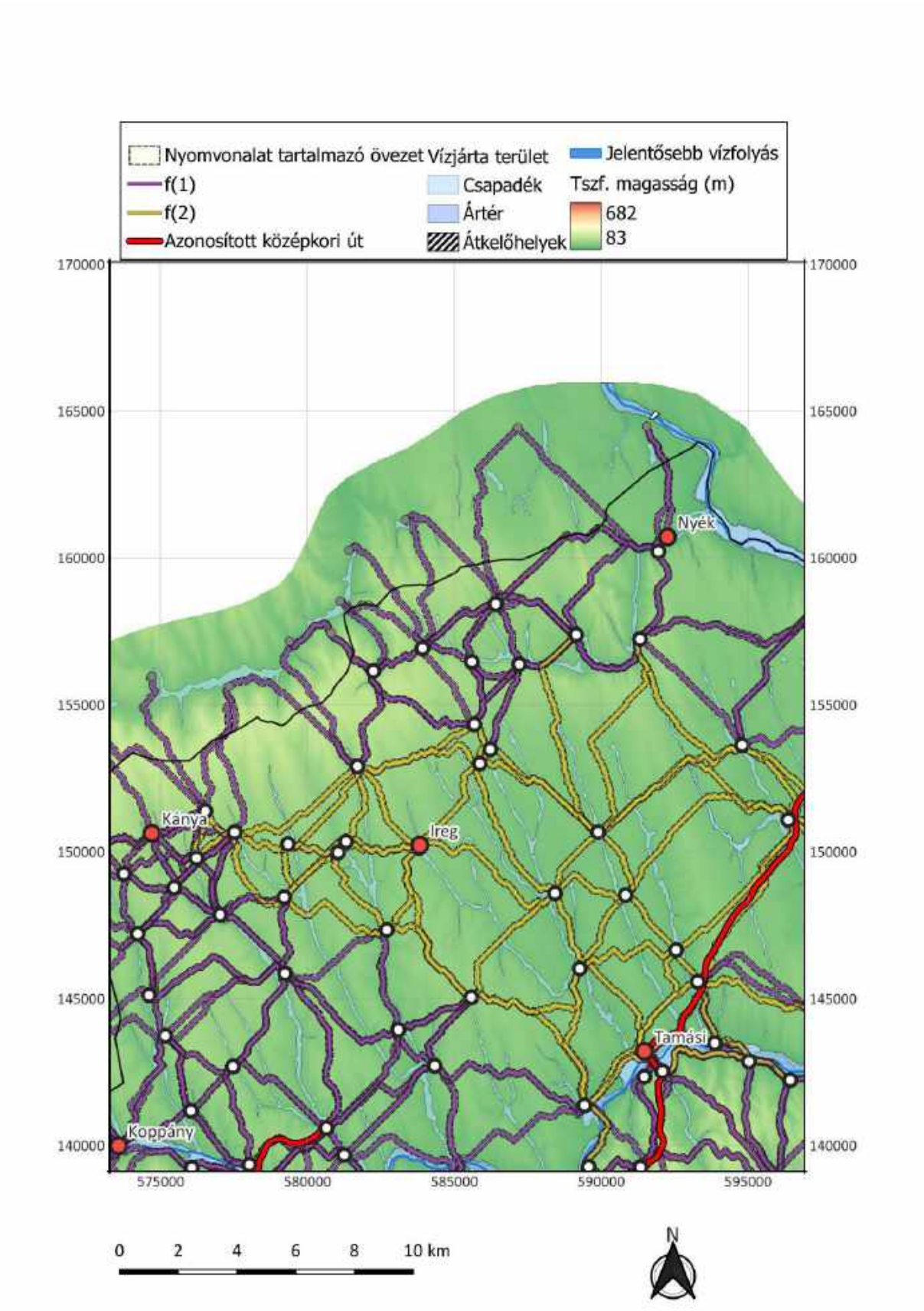
```python
def a_star_algorithm(
  start,
  goal,
  cost_raster_path,
  heuristic,
  turn_penalty=0,
  weight_h=1,
):

    # A keresési listák definiálása
    open_set = []
    heapq.heappush(open_set, (0, start))
    parent = {}
    g_score = {start: 0}
    f_score = {start: heuristic(start, goal)}
    processed_nodes = set()
    directions = {start: None}
    overvalued_nodes = 0

    # Szomszédos csomópontok lekérdezése
    def get_neighbors(node):
        x, y = node
        neighbors = []

        steps = [
        (-1, 0), (1, 0), (0, -1), (0, 1),
        (-1, -1), (-1, 1), (1, -1), (1, 1)
        ]

        for dx, dy in steps:
            nx, ny = x + dx, y + dy
            if 0 <= nx < rows and 0 <= ny < cols:
                neighbors.append(((nx, ny), (dx, dy)))

        return neighbors

    # Fordulási büntetés kiszámítása
    def compute_turn_cost(prev_direction, new_direction):
        if prev_direction is None or prev_direction == new_direction:
            return 0
        return turn_penalty

    # Keresési ciklus az aktuálisan legkisebb csomóponton
    while open_set:
        _, current = heapq.heappop(open_set)

        # Ellenőrzés a cél eléréséhez
        if current == goal:
            return reconstruct_path(parent, goal)

        processed_nodes.add(current)

        # A szomszédos csomópontok feldolgozása
        for neighbor, direction in get_neighbors(current):
            if neighbor in processed_nodes:
                continue

            # Az aktuális csomóponthoz vezető lépés költségének kiszámítása
            nx, ny = neighbor
            traverse_cost = get_raster_value(nx, ny)
            tentative_g_score = (
                g_score[current]
                + traverse_cost
                + compute_turn_cost(directions[current], direction)
            )

            # Ha kisebb költséggel érhető el a szomszéd, a keresési listához illesztés.
            if tentative_g_score < g_score.get(neighbor, float('inf')):
                parent[neighbor] = current
                g_score[neighbor] = tentative_g_score
                f_score[neighbor] = tentative_g_score + weight_h * heuristic(neighbor, goal)
                directions[neighbor] = direction

                heapq.heappush(open_set, (f_score[neighbor], neighbor))

    # Ha nem található útvonal
    print("No path found.")
    return None
```

4. számú melléklet: a végeredményként kapott úthálózat részletes térképlapjai

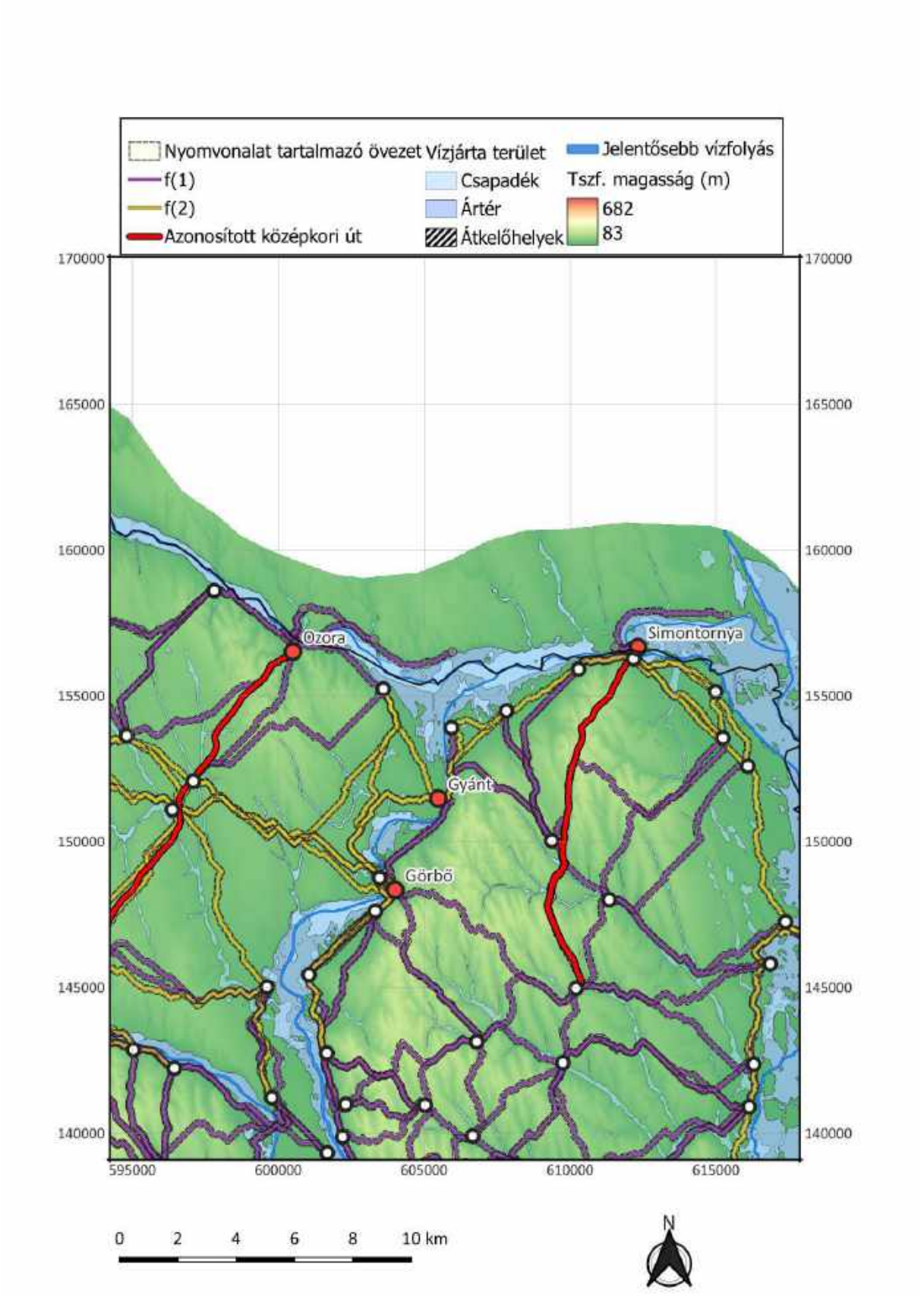
1. TÉRKÉPLAP



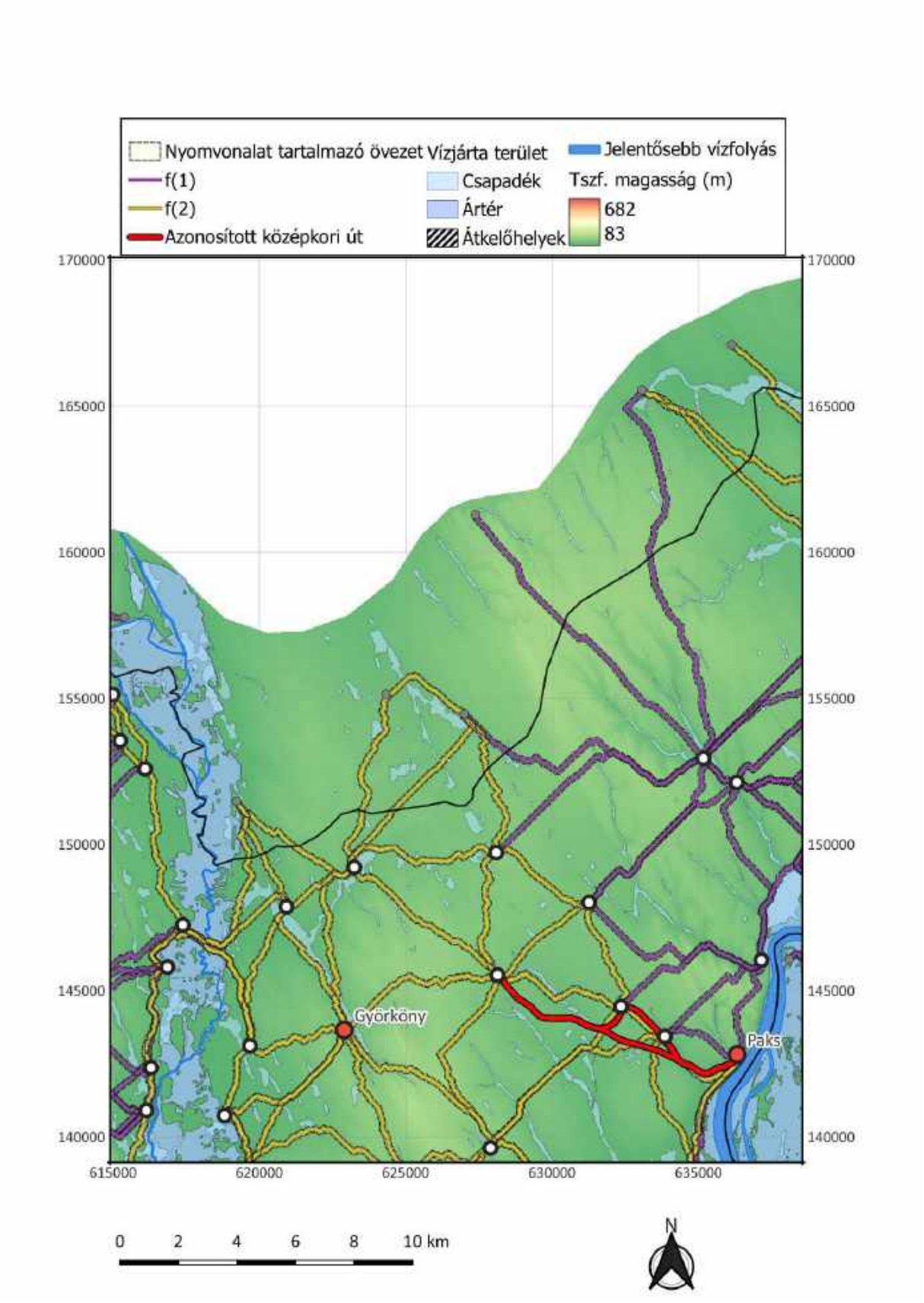
2. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Nyék
Kánya
Ireg
Tamási
Koppány
170000
165000
160000
155000
150000
145000
140000
575000
580000
585000
590000
595000
0
2
4
6
8
10 km
N

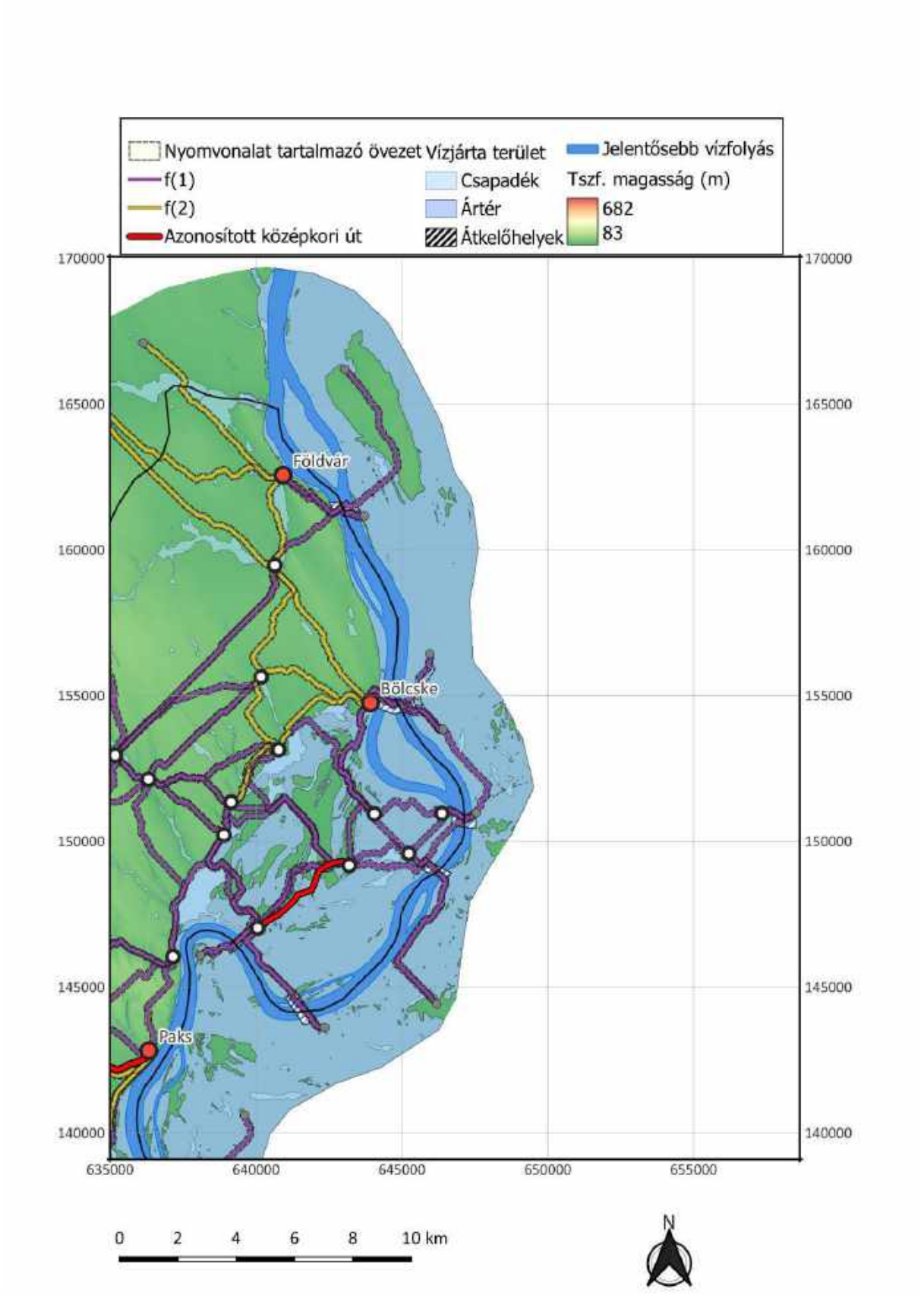
3. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Ozora
Simontornya
Gyánt
Görbő
170000
165000
160000
155000
150000
145000
140000
595000
600000
605000
610000
615000
0
2
4
6
8
10 km
N

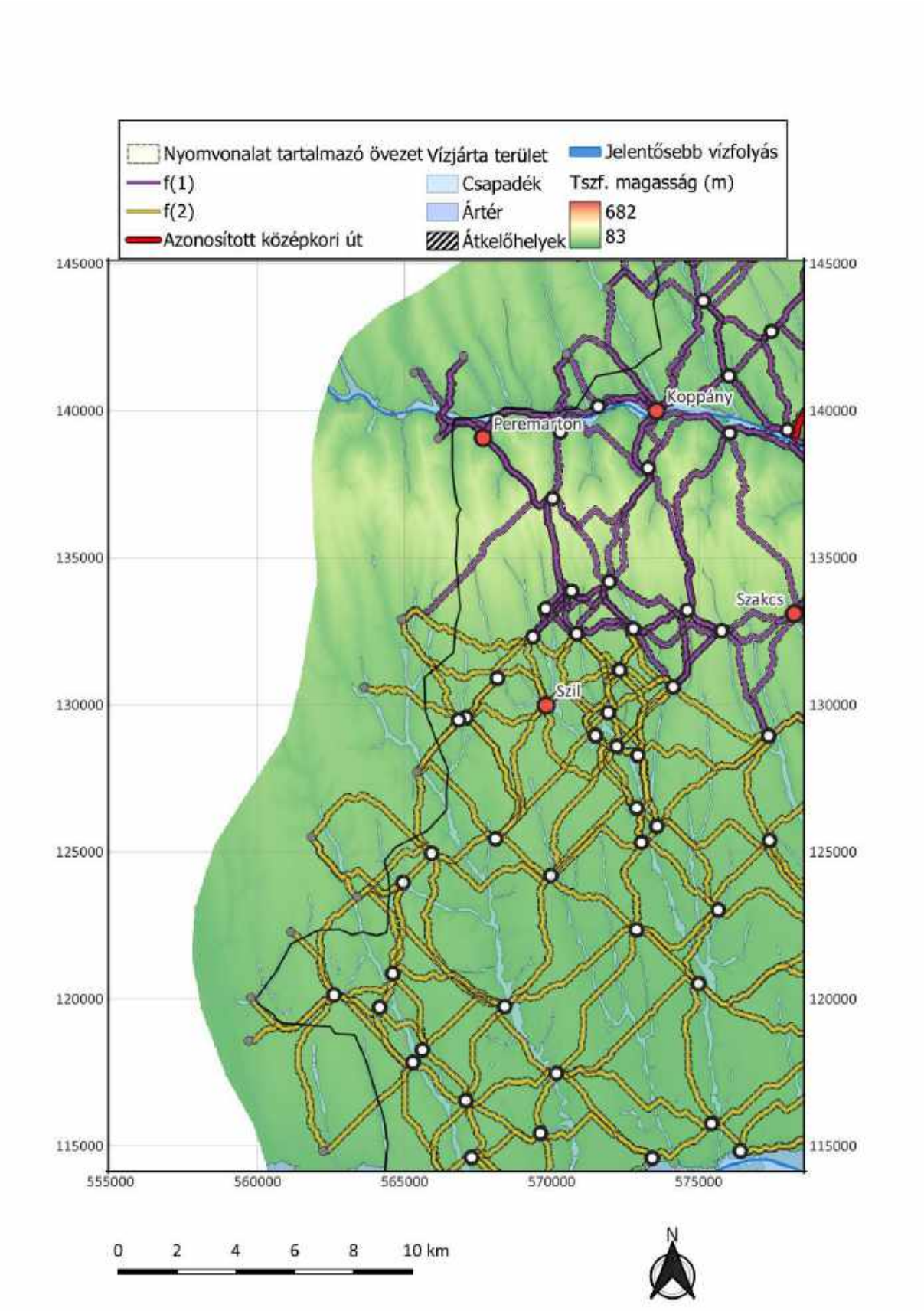
4. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
170000
165000
160000
155000
150000
145000
140000
615000
620000
625000
630000
635000
Györkönyi
Paks
0
2
4
6
8
10 km
N

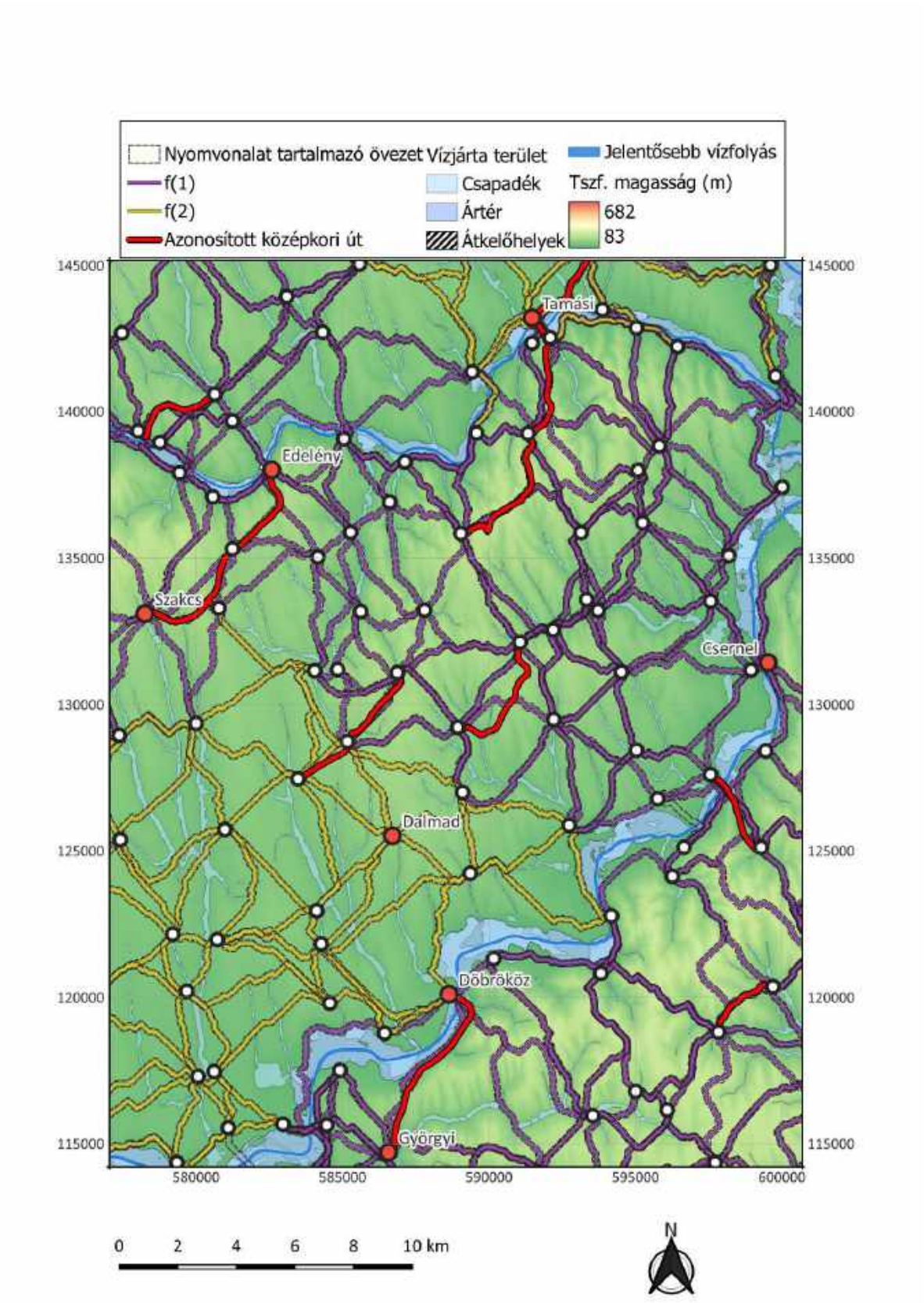
5. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Földvár
Bölcske
Paks
170000
165000
160000
155000
150000
145000
140000
635000
640000
645000
650000
655000
0
2
4
6
8
10 km
N

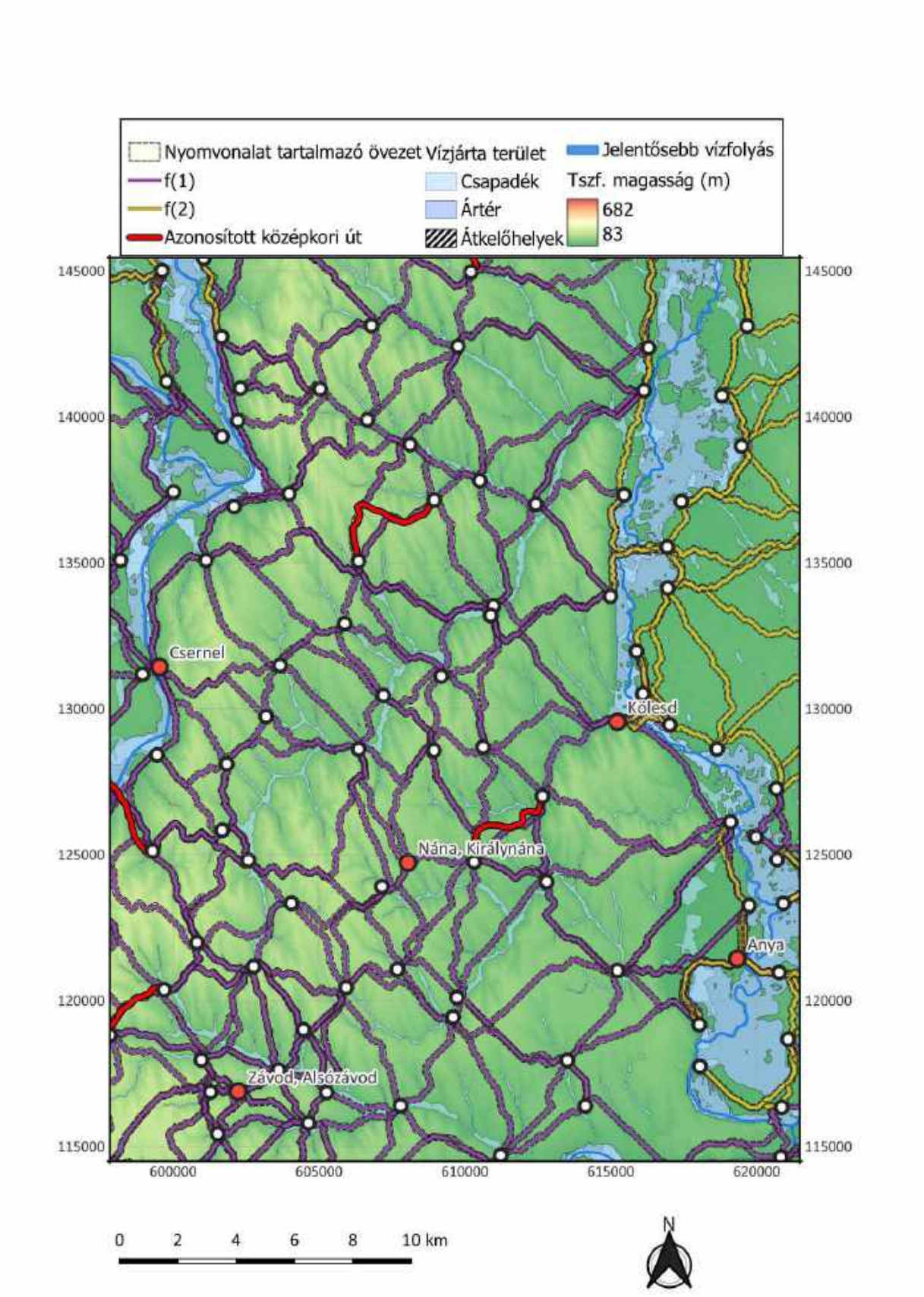
6. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Koppány
Peremarton
Szakcs
Szil
145000
140000
135000
130000
125000
120000
115000
555000
560000
565000
570000
575000
0
2
4
6
8
10 km
N

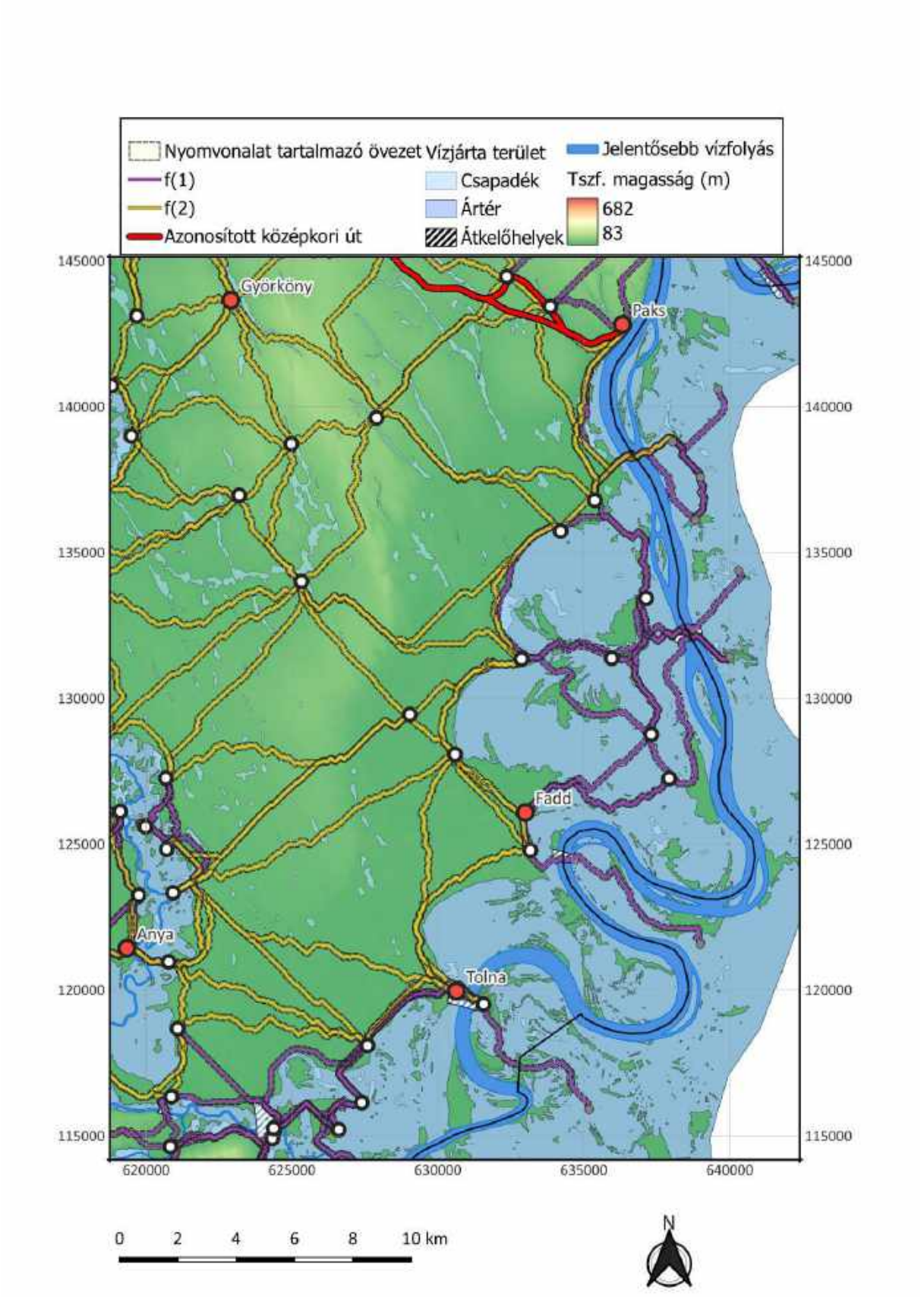
7. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Tamási
Edelény
Szakcs
Csernely
Dálmad
Döbrököz
Györgyi
145000
140000
135000
130000
125000
120000
115000
580000
585000
590000
595000
600000
0
2
4
6
8
10 km
N

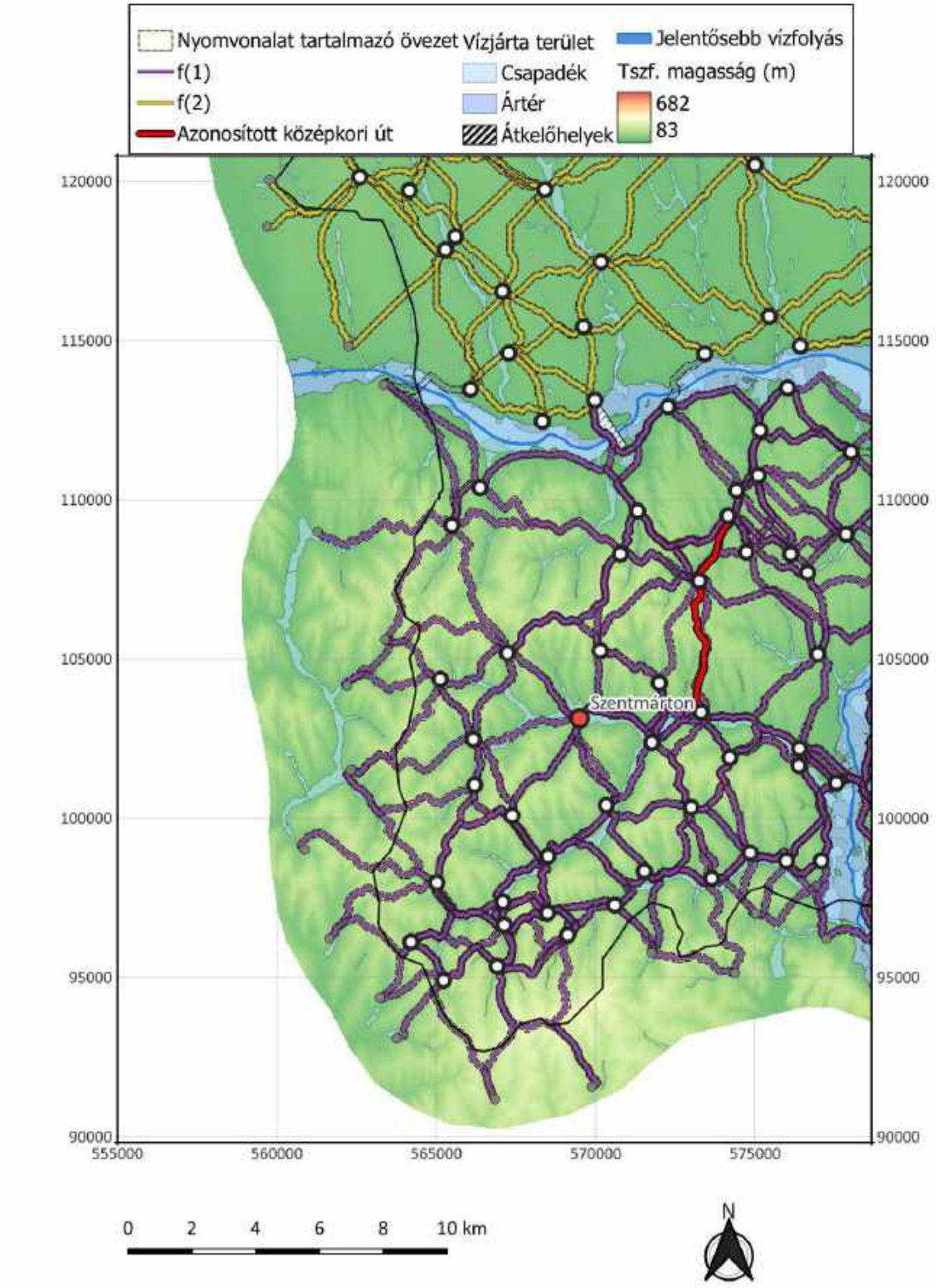
8. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Csernel
Kölesd
Nána, Királynána
Anya
Závod, Alsózávod
145000
140000
135000
130000
125000
120000
115000
600000
605000
610000
615000
620000
0
2
4
6
8
10 km
N

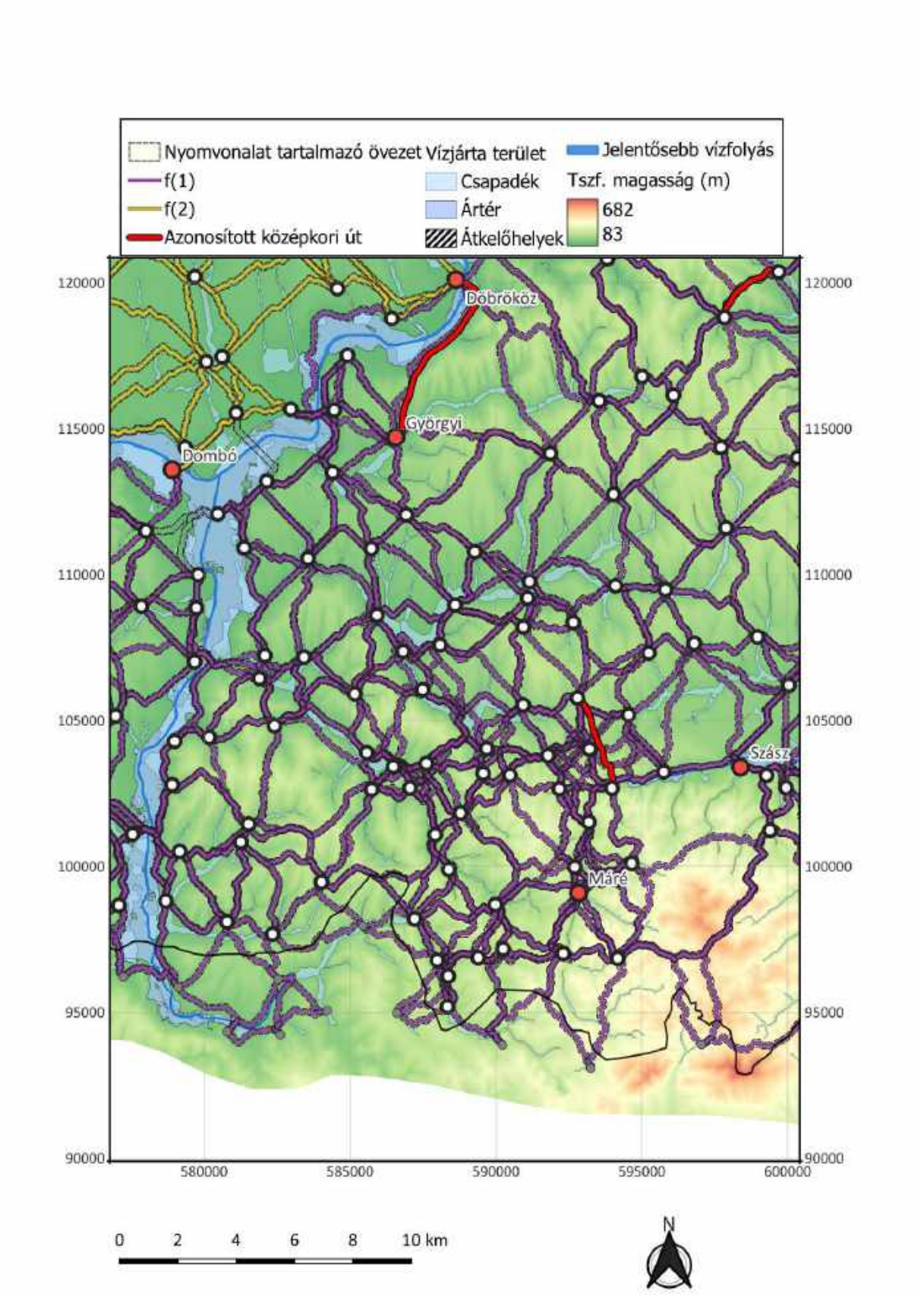
9. TÉRKÉPLAP


Nyomvonalat tartalmazó övezet
f(1)
f(2)
Azonosított középkori út
Vízjárta terület
Csapadék
Ártér
Átkelőhelyek
Jelentősebb vízfolyás
Tszf. magasság (m)
682
83
Györköny
Paks
Fadd
Anya
Tolna
145000
140000
135000
130000
125000
120000
115000
620000
625000
630000
635000
640000
0
2
4
6
8
10 km
N

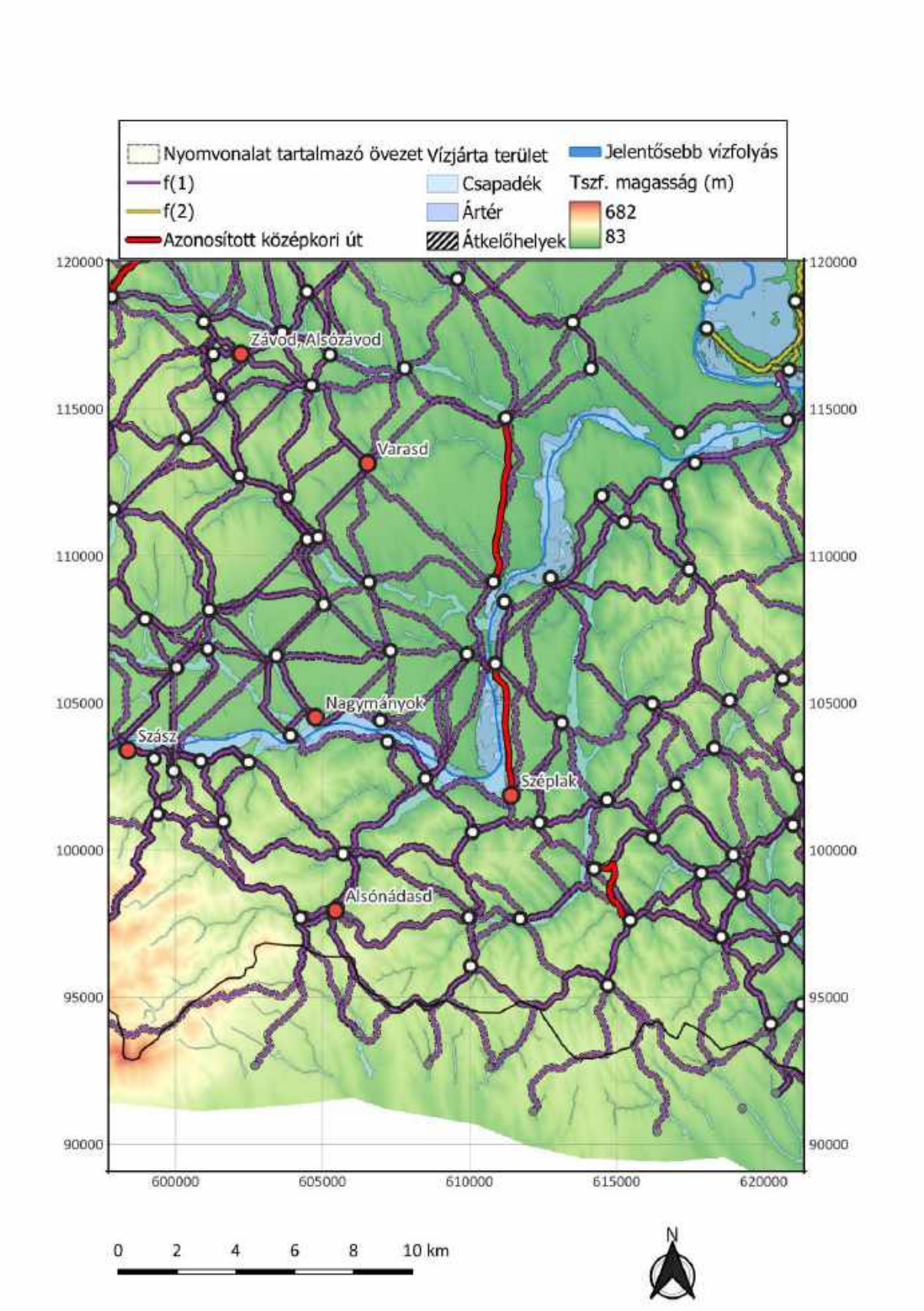
10. TÉRKÉPLAP



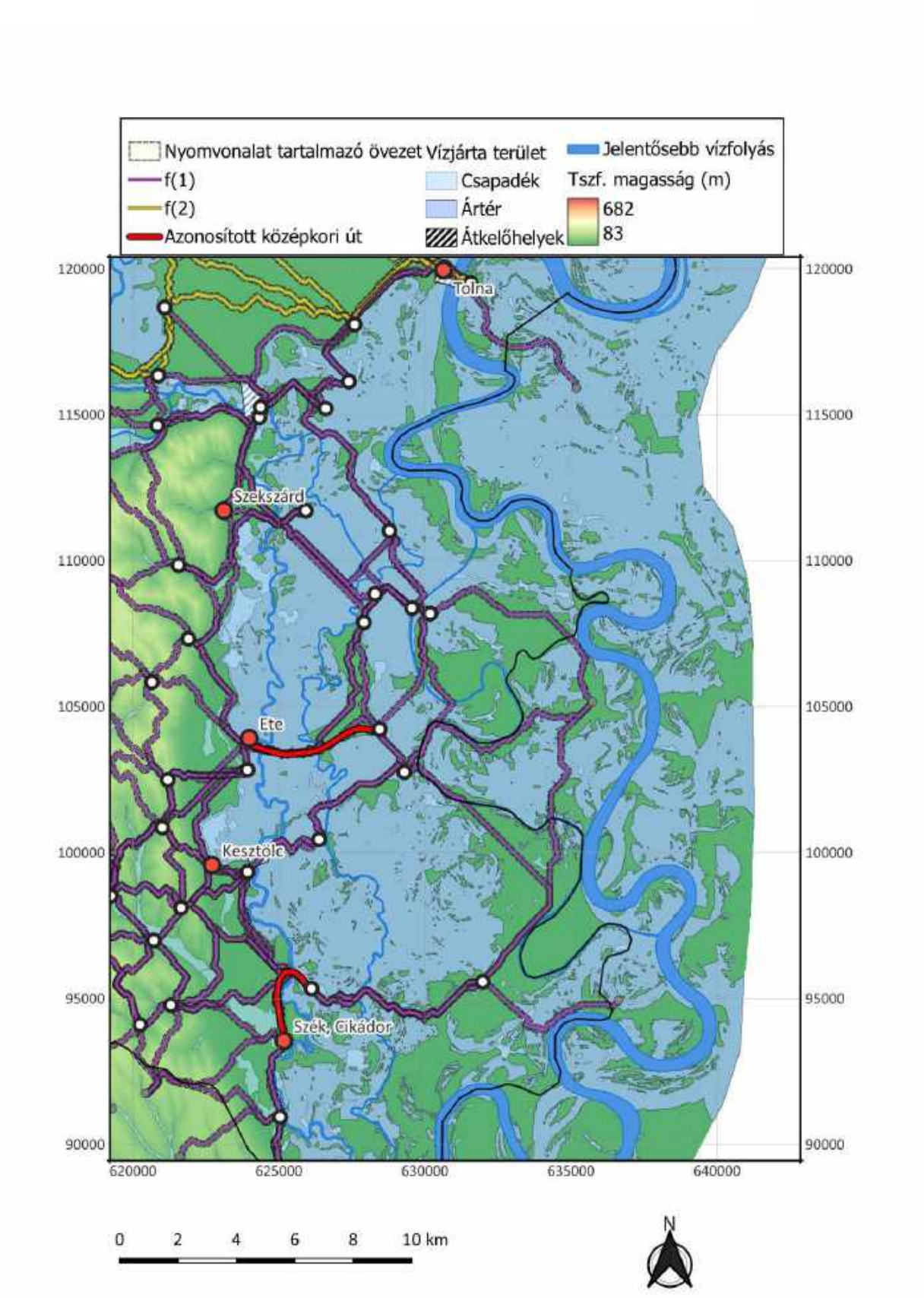
11. TÉRKÉPLAP



12. TÉRKÉPLAP



13. TÉRKÉPLAP



14. TÉRKÉPLAP