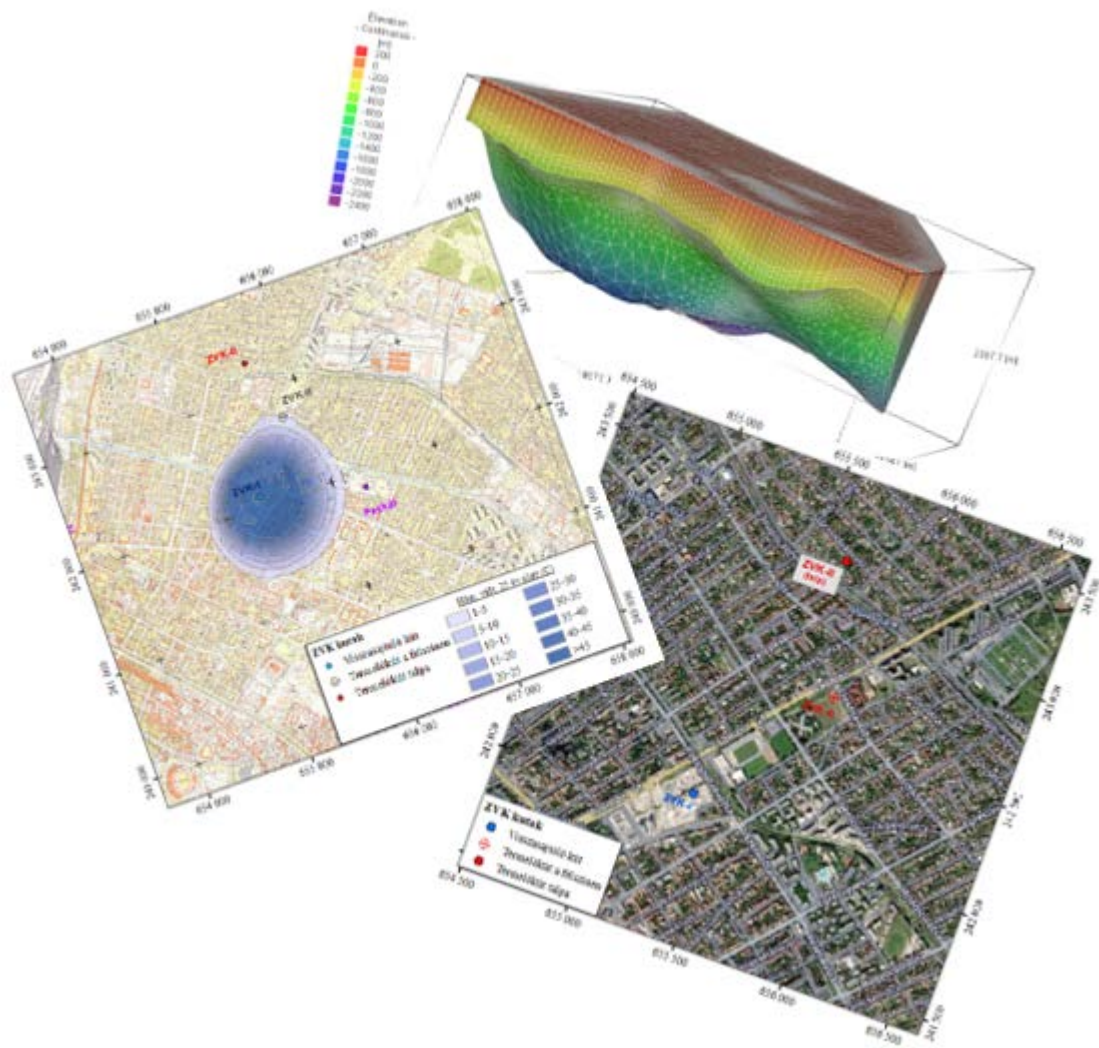


A BOSNYÁK TÉRI TERVEZETT GEOTERMIKUS KÚTPÁR VÍZFÖLDTANI HATÁSVIZSGÁLATA



AQUIFER Kft.

2025. június

TARTALOMJEGYZÉK

1	ELŐZMÉNY	2
2	A TERVEZETT TERMÁLKÚT	2
3	A VIZSGÁLT TERÜLET VÍZFÖLDTANI MODELLJE	4
3.1	Az alkalmazott szoftver	5
3.2	A modell felépítése	6
3.2.1	A modellezett terület	6
3.2.2	Modell paraméterei	10
3.3	Kalibráció	11
4	HATÁSVIZSGÁLATI SZÁMÍTÁS	12
4.1	A tervezett visszasajtolás jellemző adatai	12
4.2	Számítási eredmények	13
4.2.1	Várható vízszintváltozás	13
4.2.2	Hőmérsékleti hatás	15

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra:	A tervezett kút elhelyezkedése	3
2. ábra:	Áttekintő ábra a budapesti termálkarszt hévízkútjairól	4
3. ábra:	Modellezett terület számítási hálójával	7
4. ábra:	Triász képződmények felszíne a modellezett területen	8
5. ábra:	Sematikus ábra a modell vertikális felépítéséről	9
6. ábra:	Számítási háló térbeli felépítése	9
7. ábra:	Számított karsztvízszint (mBf)	12
8. ábra:	A termelés/visszasajtolás következtében kialakuló tartós vízszintváltozás (m)	13
9. ábra:	Számított hőmérséklet csökkenés 25 év elteltével	15
10. ábra:	Számított hőmérséklet csökkenés 50 év elteltével	16

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat:	A tervezett kút fontosabb műszaki adatai	2
2. táblázat	Szivárgási paraméterek	10
3. táblázat	Transzport paraméterek	11
4. táblázat	A 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendeletnek való megfelelés vizsgálata	14

1 ELŐZMÉNY

A BAYER Construct Zrt. a budapesti Bosnyák tér környezetében geotermikus energia hasznosításához geotermikus kútpárt létesített.

Jelen munka a rendszer tervezett üzemeltetését vizsgálja. Tanulmányunk az engedélyezési dokumentáció részét képező hatásvizsgálati számítás, mely a vízbeszerzési szakvéleményre alapozva, az ott bemutatott ismereteket nem ismételve, a hatásvizsgálati modellezést és eredményeit mutatja be.

Dokumentációnk 8.000 m³/nap termálvíz egyidejű termelésének és visszasajtolásának hatásvizsgálata.

2 A GEOTERMIKUS KUTAK

Budapest XIV. kerületében a Bosnyák tér rehabilitációjához kapcsolódóan geotermikus energia hasznosítás céljából 2023-ban **ZVK-I** néven termálkút létesült. A második **ZVK-II** jelű kutat a ZVK-I kúttól É-ÉK-i irányban ferde fúrási technológiával létesítették 2025-ben. A második kút felszíni pontja az elsőtől mintegy 750 m, míg talppontja 1250 m távol van. A kutak lokális elhelyezkedését az **1. ábra** mutatja. A **2. ábra** a budapesti termálkarszt meglévő termelő kútjaival együtt mutatja a geotermikus rendszer kútjait.

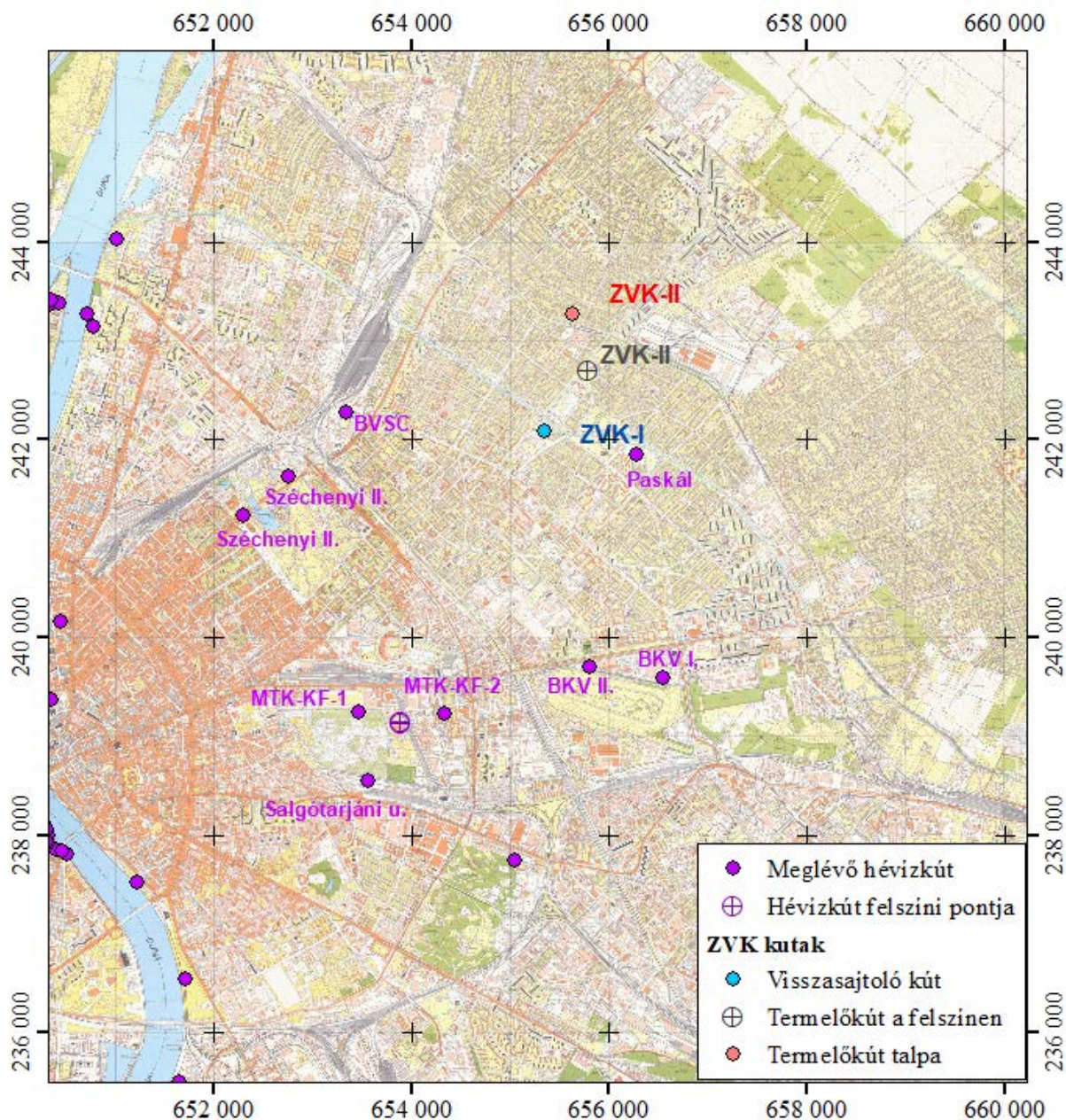
A kutak műszaki adatait az **1. táblázat** foglalja össze.

		ZVK-I (besajtoló kút)	ZVK-II (termelő kút)
Felszíni koordináták	EOVX	242088,41	242 698,4
	EOVY	655350,67	655 754,3
Talpi koordináták	EOVX	242088,41	243 183,9
	EOVY	655350,67	655 648,4
Terep [mBf]		111,28	121
Talpmélység [m]		1154	1 322
Nytott szakasz [m]		1142-1154	
Várható víztermelés [m ³ /év]		-2 920 000	2 920 000
Várható vízhőmérséklet [°C]		35	70-72

1. táblázat: A geotermikus kutak fontosabb műszaki adatai



1. ábra: A geotermikus kutak elhelyezkedése



2. ábra: Áttekintő ábra a budapesti termálkarszt hévízkútjairól

3 A VIZSGÁLT TERÜLET VÍZFÖLDTANI MODELLJE

A vízmozgások hidrodinamikai és hőtranszport modellje a FEFLOW szoftver alkalmazásával készült el. A WASY Ltd. által kifejlesztett FEFLOW szoftver többféle áramlás szimulációs probléma megoldására alkalmas modullal rendelkezik (folyadékáramlás, transzport folyamatok, kapcsolt hőáram szimuláció, folyadéksűrűség által indukált áramlások), így kimondottan alkalmas termálrendszerek vizsgálatára. A végeselemű numerikus módszert alkalmazó szoftver alkalmazása évek óta elfogadott a hazai szakmai gyakorlatban.

3.1 Az alkalmazott szoftver

A FEFLOW az első olyan teljes körű modellező szoftver, amely sikeresen egyesíti az erőteljes grafikus képességeket a bonyolult elemzési eszközökkel és a megbízható numerikus algoritmusokkal,

- permanens és nem permanens szivárgás,
- telített és telítetlen szivárgás,
- sűrűség függő szivárgás,
- többszörös szabad víztükör,
- tömeg- és hőtranszport

szimulációk futtatása érdekében.

A FEFLOW-t kimondottan azért tervezték, hogy megfeleljen a komplex modellezési projektekben résztvevő nagy szakértelemmel rendelkező modellezők műszaki igényeinek. A program legfontosabb komponensei:

- A végelem háló létrehozását, a paraméterzónák meghatározását és a peremfeltételek megadását lehetővé tevő komplex és átfogó grafikus eszközkészlet.
- Adatimportálás és interpolációs algoritmusok, valamint ARC/INFO (ESRI) GIS interfész.
- Megbízható numerikus algoritmusok és megoldási módszerek.
- Valós idejű adatértékelés.
- Magas szintű 3D vizualizálás.

Ezek a komponensek lehetővé teszik, hogy a modellfelépítés, a szimuláció futtatása és az eredmények megjelenítése hatékonyan történjen. A FEFLOW egy teljesen integrált modellezési környezet, teljes értékű grafikus interfésszel és erőteljes numerikus megoldókkal, melyek a felhasználó számára lehetővé teszik:

- a végelem háló grafikus létrehozását egyszerű és komplex geológiai formációk részére,
- a külső adatok importálását és csatolását a FEFLOW "GIS/DATA Coupling" rendszerével,
- az összes szivárgáshidraulikai és transzport paraméter megadását,
- a komplex modell szimulációk futtatását, és
- az eredmények megjelenítését két és három dimenzióban.

Fő jellemzők

- Fejlett 3D grafikus alapú modellezési környezet.
- Telített és telítetlen szivárgáshidraulikai és szennyeződésterjedés modellezés (2D & 3D).
- Konvektív, konduktív és termo-diszperzív hőtranszport.
- Teljesen tranziens, félig tranziens és permanens szivárgáshidraulikai és transzport folyamatok.

- Nyomás alatti és szabadfelületű vízádók, valamint több szabad felületű (pangó) víztükör.
- Celluláris konvekciós folyamatok alkalmazása a dupla diffúziós, valamint a gravitáció és a hő hatására létrejövő konvekció szimulációjára.
- Erőteljes végeelem háló generálási képességek.
- Adatbázis és GIS-kapcsolat az adatok hatékony kezelése érdekében.
- Integrált adatcsoportosítási rutinok a diszkrét adatok interpolációjához.
- Peremfluxusok és transzfer feltételek grafikus hozzárendelése.
- Az eredmények megtekintése olyan átütő, 3D vizualizálási eszközökkel, mint: kerítésdiagramok, részecskeútvonalak, izofelületek, tetszőleges kivágások, izochronok, modell elforgatás és áramlási vektorok.
- Részletes mérlegkészítés: szivárgáshidraulikai, koncentráció és hőáram.
- Új interfész-manager a FEFLOW és egyéb szoftverek közti kapcsolat megteremtése érdekében.

3.2 A modell felépítése

3.2.1 A modellezett terület

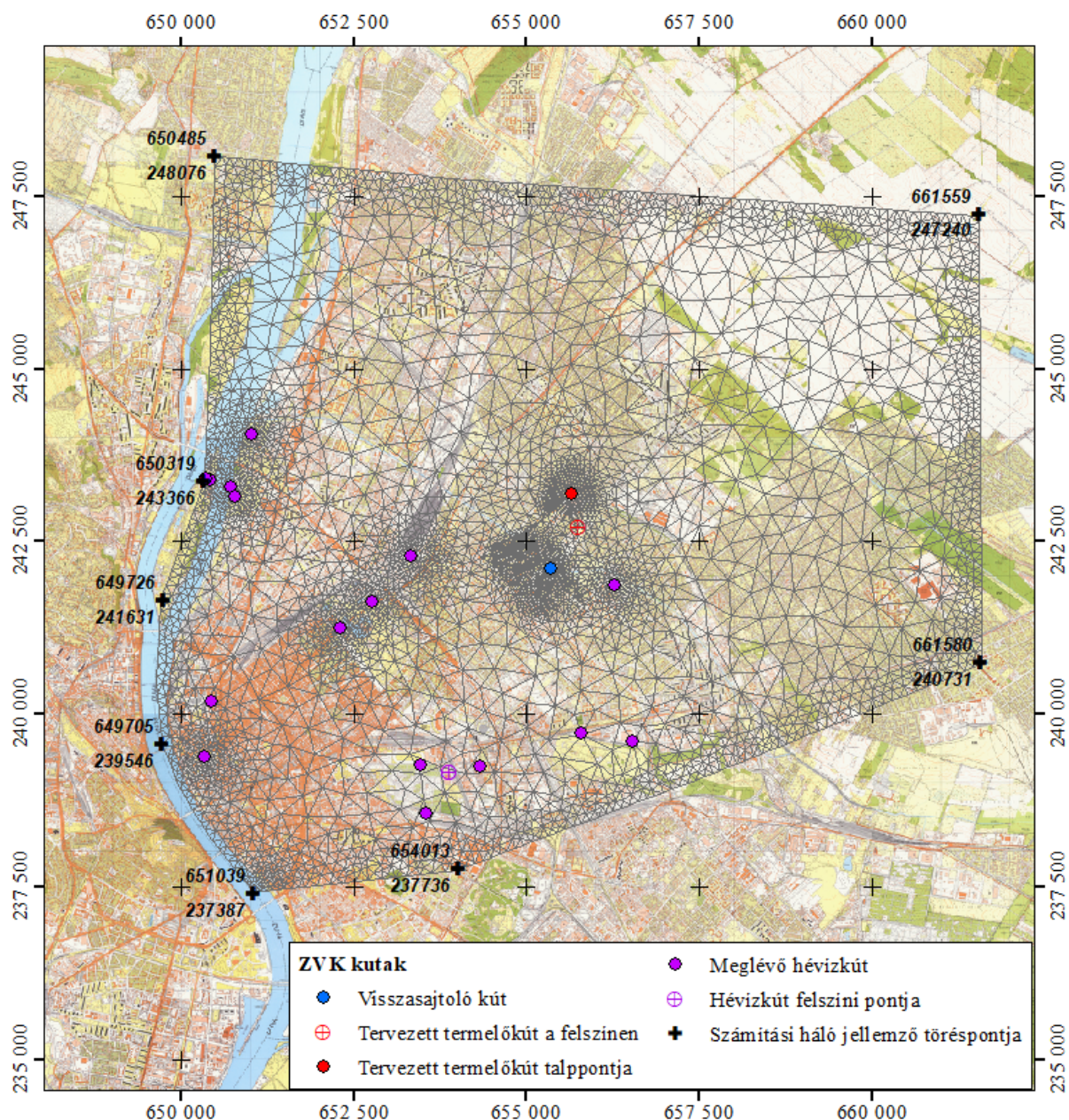
Horizontális kiterjedés

A modellezésben figyelembevett terület horizontális kiterjedését általában célszerű akkorára megválasztani, hogy a vizsgálni kívánt hatások a peremeken elhanyagolhatóak legyenek. Esetünkben szükséges a tervezett új tevékenység hatását vizsgálni a legközelebbi termálkutakra is, tehát a modell magába foglalja e kutakat is.

A modellterület egy közel 12 km x 10,5 km kiterjedésű terület. A modellterület nyugati szélét a Duna vonala adja, ez a határ közelítőleg azonos a karsztvízszintek mélypontjával.

Számítási háló

A modellezés első lépése a számítási háló felépítése. A modellezett terület lefedéséhez a végeelem módszer háromszöghálóját használtuk fel. A pontosabb számítási eredmények érdekében a fontosabb termálkutak környezetében sűrűbb számítási hálót alkalmaztunk, mint a modell egyéb területein. A modellezett területet a végleges számítási hálóval, a háló jellemző sarokponti koordinátáinak megadásával a **3. ábra** mutatja.



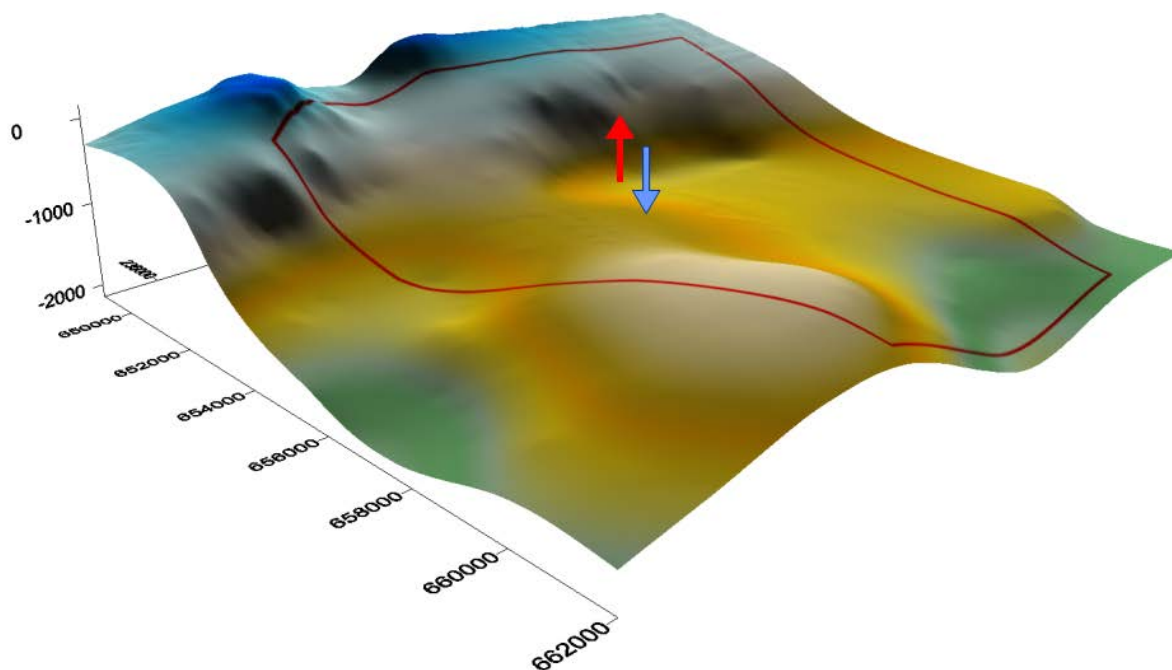
3. ábra: Modellezett terület számítási hálójával

Vertikális felosztás

A modellel vertikumban is csak a várható hatások által érintett térrészt vizsgáltuk. A terület korábban részletesen ismertetett földtani sajátságaiból kiemelve most csak a modellezés szempontjából fontos jellemzőket foglaljuk össze:

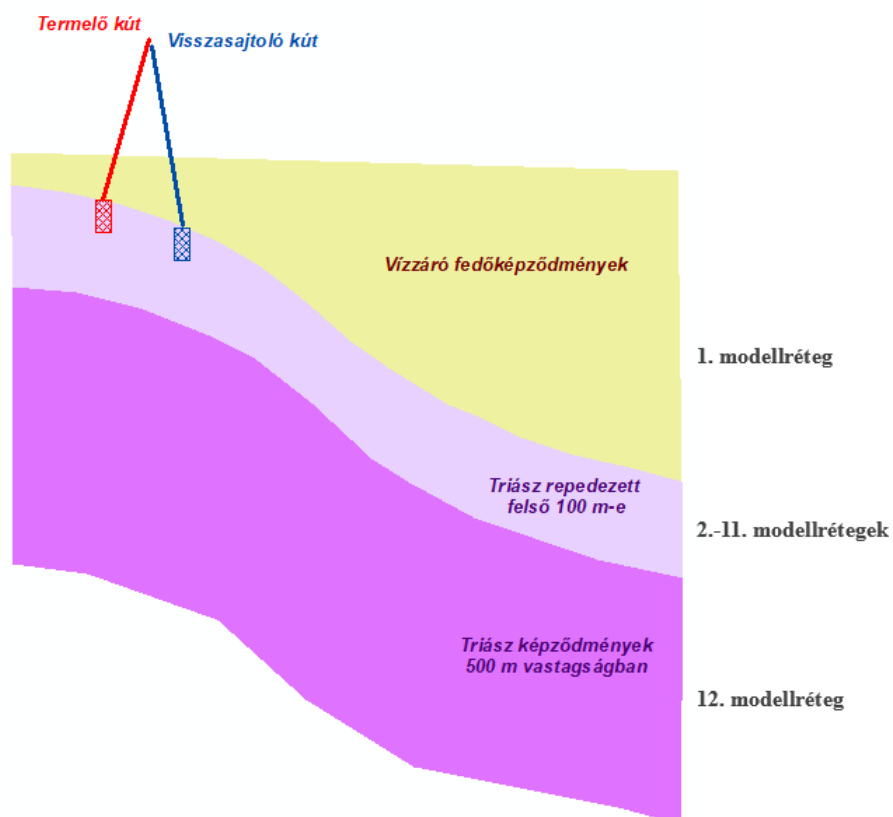
- Aktív vízforgalom a triászfelszín repedezett zónájából várható. A mélyebben fekvő triász képződményekben csökken a repedezettség, és ez által csökken a vízforgalom intenzitása is.
- A fedőképződmények érdemben vízzárónak tekinthetők

A modell legfelső szintjét a terep jelenti, legfontosabb vezérszintjét a triász felszín adja, melyet a modell területére Dr. Lorberer Árpád kutatási eredményeire alapozva ad meg a **4. ábra**. Az ábrán feltüntettük a termelő és a visszasajtoló kút helyét, valamint a modellterület határvonalait.

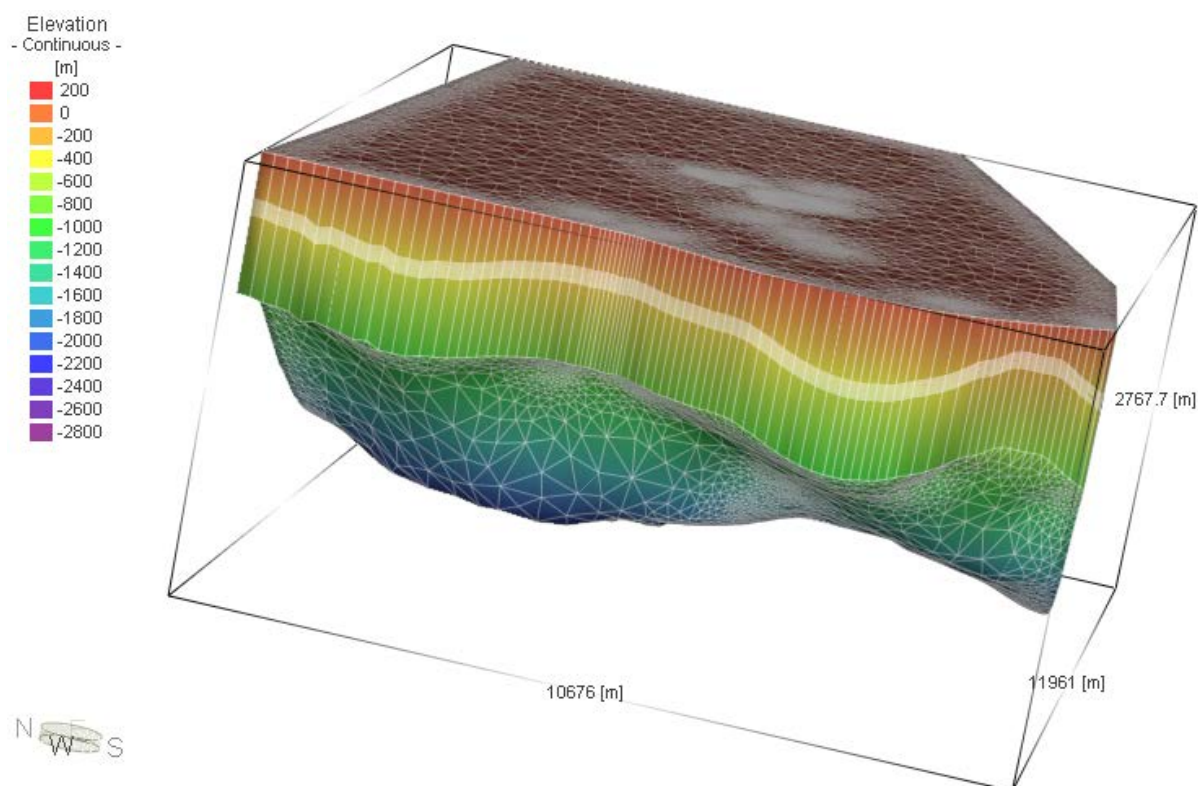


4. ábra: Triász képződmények felszíne a modellezett területen

A hévízbeszerzésre a triász felszín töredezett felső része alkalmas. Ennek vastagsága 100 m körülire becsült. A modellbe ez a 100 m 10 egyenlő részre bontva került beépítésre. A mélyebben található triász rétegek 500 m vastagsággal jelennek meg a modellben. A modell legmélyebb pontja -2667 m terep alatt. A modell vertikális felépítését sematikusán a **5. ábra** míg a számítási háló teljes térbeli felépítését a **6. ábra** mutatja.



5. ábra: Sematikus ábra a modell vertikális felépítéséről



6. ábra: Számítási háló térbeli felépítése

3.2.2 Modell paramétere

Szivárgási paraméterek

A szivárgási paraméterek szakirodalmi adatok alapján, illetve a környező kutak paramétere alapján lettek meghatározva. A paraméterezés során a 2. ábra alapján triász felszín különböző kőzetkifejlődései eltérő értékekkel kerültek paraméterezésre. Az alábbi **2. táblázat** az alkalmazott szivárgási paramétereket foglalja össze:

	Horizontális szivárgási tényező (m/nap)	Vertikális szivárgási tényező (m/nap)	Átlagos porozitás
Fedőképződmények (1. modellréteg)	0,1	$1 \cdot 10^{-4}$	0,1
Triász képződmények repedezett zónája (2-11. modellrétegek)	2,5-20	1,8-2	0,1-0,15
Triász képződmények alsó szintje (12. modellréteg)	1	0,5	0,1

2. táblázat Szivárgási paraméterek

Szivárgási peremfeltételek

Fix vízszint (1. típusú, Dirichlet peremfeltétel)

Minden modellrétegben az adott szinten jellemző vízszinteket kötöttük meg fix peremi nyomásként.

A triász képződmények repedezett, termelt szintjén $I=0,0002$ esésű, döntően K-NY irányú, azaz keletről nyugat felé történő termálvíz-áramlás feltételezhető (lásd. vízbeszerzési szakvélemény). Ez a vízszint került megadásra a 2-4 modellrétegben.

Termelő kút (4 típusú peremfeltétel)

A vizsgált területen található hévízkutak pontszerűen, jellemző termelési adatokkal - kalibráció során a sokéves átlagos termeléssel, míg a tervezett új kút a hatás számításnál a vízigény szerinti várható éves átlagos mennyiséggel került megadásra.

Hőtranszport paraméterek

A hatásvizsgálat keretében elvégzett hőtranszport számítás paraméterei szakirodalmi adatok alapján az alábbi értékekkel kerültek megadásra.

	Hővezetés (J/m/s/K)	Hőkapacitás (MJ/ m ³ / K)
1. modellréteg (agyagos rétegek)	1,8	2,52
2-12. modellréteg (triász mészkő)	2.5	2,52

3. táblázat Transzport paraméterek

- Víz hővezetése: 0,58 J/m/s/K
- Víz hőkapacitása: 4,19 MJ/ m³/ K

Hőtranszport peremfeltételek

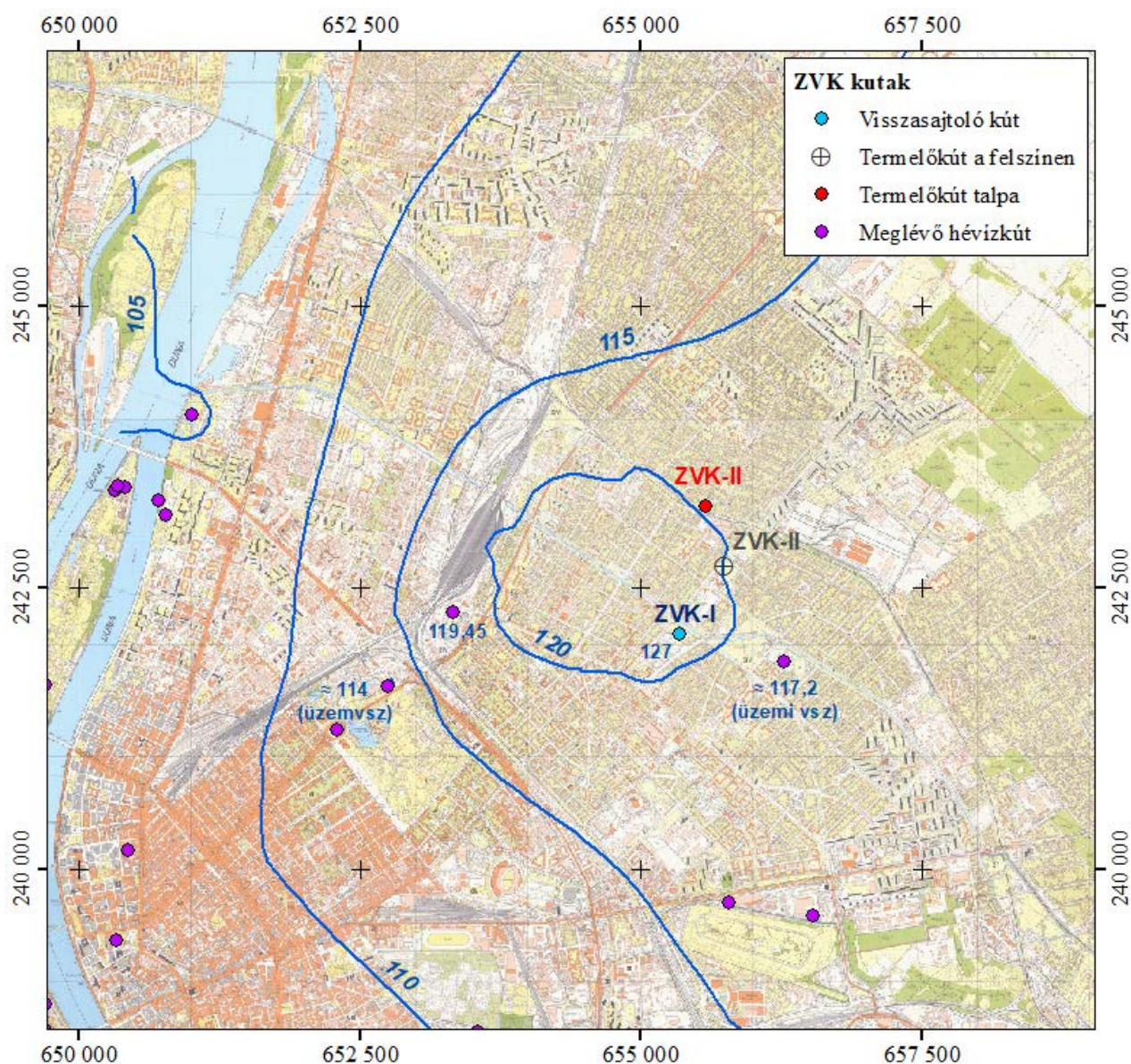
A modell peremein az 1-3 modellrétegek esetében fix hőmérsékletként a geotermikus gradiens alapján az adott mélységre jellemző hőmérsékletet adtuk meg. A modell alsó határoló felületén a teljes alsó felületre fix hőmérséklet került definiálásra.

3.3 Kalibráció

A modell kalibrációja során az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

- A számított regionális karsztvízszint a modellezett területen a lehető legjobb egyezést adja az ismert mérésekkel.
- a 2017-2019 évek mérései adják a modell kalibrációs alapadatait. Ekkor létesült a területen a három új kút, építéskori nyugalmi adataik és a termelő kutak üzemi mérései viszonylag sok, lényegében egyidejűnek tekinthető mérést jelentenek. BGYH Zrt. kötelező üzemi adatszolgáltatása szerint a hivatkozott időszakban a Széchenyi II. kút üzemi vízszintje 3 300 m³/nap átlagos hozama mellett 114 mBf körüli érték, míg a Pascal kúté 440 m³/nap hozam mellett 117 mBf érték körüli.

A kalibráció eredményét a **7. ábra** mutatja. Az ábra alapján látható, hogy a számított és az ismert mért vízszintek jó egyezést mutatnak, így a rendelkezésre álló ismeretek szintjén a modell kalibráltnak tekinthető. A modell alkalmas a hatásvizsgálati számítás elvégzésére.



7. ábra: Számított karsztvízszint (mBf)

4 HATÁSVIZSGÁLATI SZÁMÍTÁS

4.1 A tervezett visszasajtolás jellemző adatai

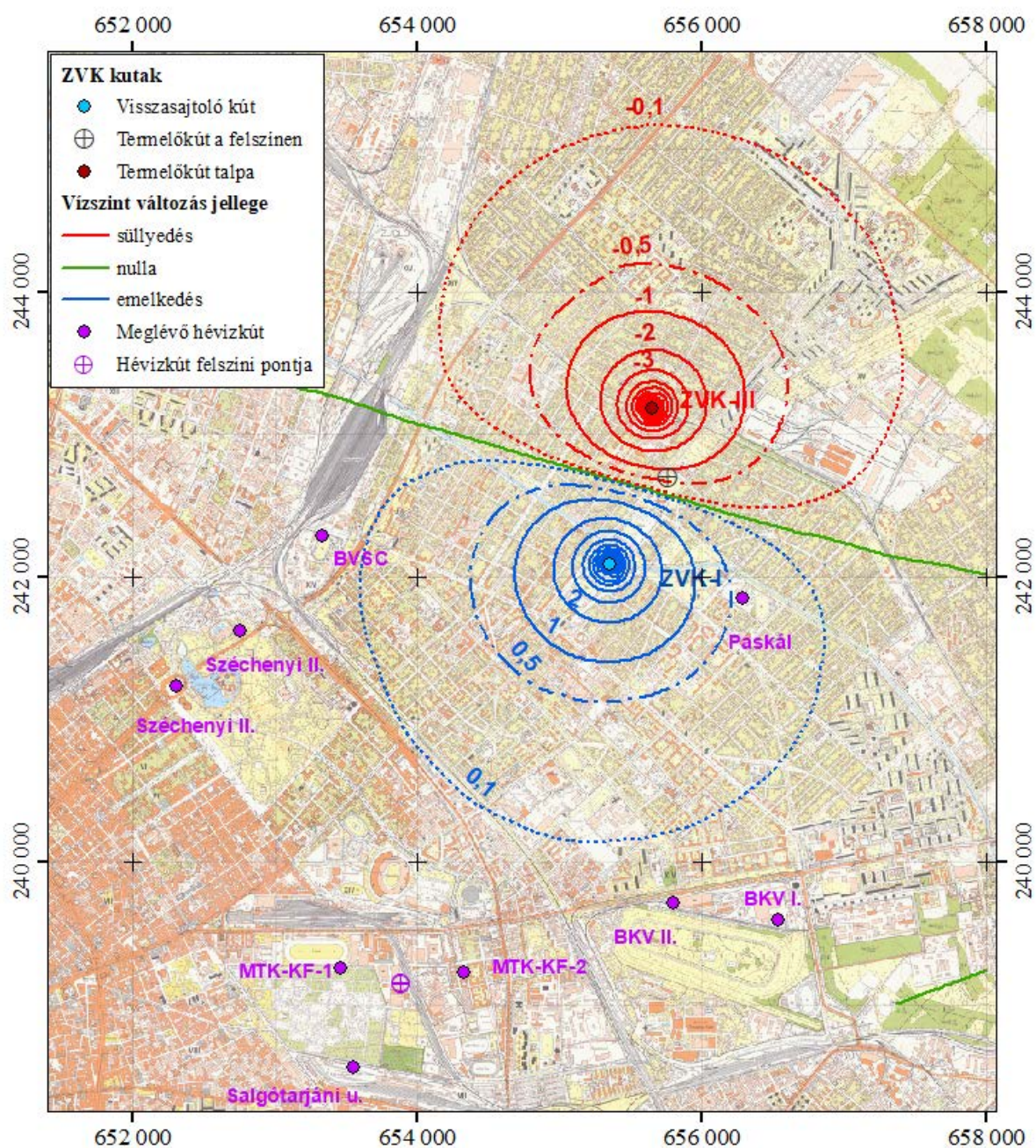
Az üzemelés során a teljes kitermelt vízmennyiség visszasajtolásra kerül. A geotermikus energia hasznosítása céljából tervezett víztermelés/visszasajtolás tervezett mennyisége 10.000 m³/nap.

A visszasajtott víz hőmérséklete 35°C.

4.2 Számítási eredmények

4.2.1 Várható vízszintváltozás

A tervezett tevékenység termál vízszintre gyakorolt kvázi permanens hatását a **8. ábra** mutatja.



8. ábra: A termelés/visszasajtolás következtében kialakuló tartós vízszintváltozás (m)

„A vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokra” vonatkozó 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet értelmében *„az azonos vízadó szintekre települt kutak együttes üzemeltetése esetén - ugyanazon üzemi vízszinthez tartozó - kialakuló vízhozamcsökkenés mértéke ne haladja meg az eredeti, üzemszerűen kitermelhető vízhozam 10%-át”*. A hatásvizsgálat a tervezett geotermikus kútpár, vízhasználat rendeletnek való megfelelését a környező termálkutak építéskori adatai és a számítási eredmények alapján adja meg. A számítási eredményeket a **8. ábra** térképen jeleníti meg, míg a **4. táblázat** az érintett kutakra számszerűsítve adja meg. A táblázat a számított hatást cm pontossággal adja meg, az ismeretek jelenlegi szintjén ez elegendő pontosságú.

Kút neve	Nyugalmi vízszint (m)	Üzemi vízszint (m)	Hozam (l/pec)	Hozam 10% (l/pec)	Fajlagos hozam (l/pec/m)	Számított hatás (m)	Számított hatás okozta hozamváltozás (l/pec)
Paskal kút	117.92	116.72	450	45	375	0.45	169
BVSC kút	119.45	106.81	730	73	58	0.05	3
Salgótarjáni u.	107.48	103.22	1450	145	340	0.01	3
Széchenyi II. kút	124.96	108.26	4850	485	290	0.02	6
Széchenyi I. kút	119.92	106.42	516	52	38	0.01	0
BKV I. kút	107.47	103.17	2000	200	465	0.02	9
BKV II. kút	104.38	95.88	1750	175	206	0.05	10

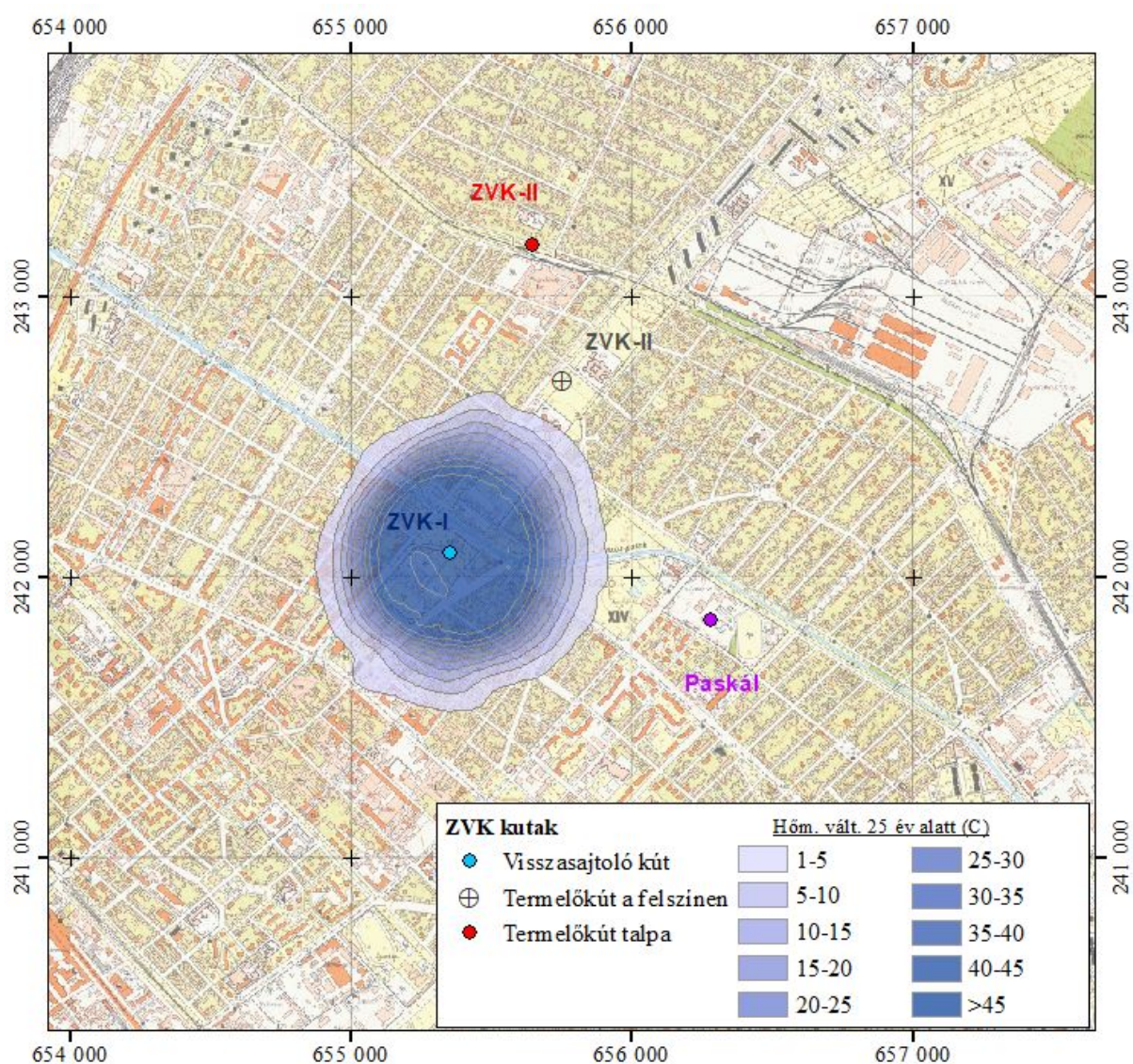
4. táblázat A 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendeletnek való megfelelés vizsgálata

A fenti táblázat alapján megállapítható, hogy a tervezett kútpár környezetében lévő termálkutak közül egyik kút esetében sem várható, hogy a vizsgált termelés okozta hatás eléri a rendeletben meghatározott mértéket, hiszen mindenhol vízszint emelkedés prognosztizálható.

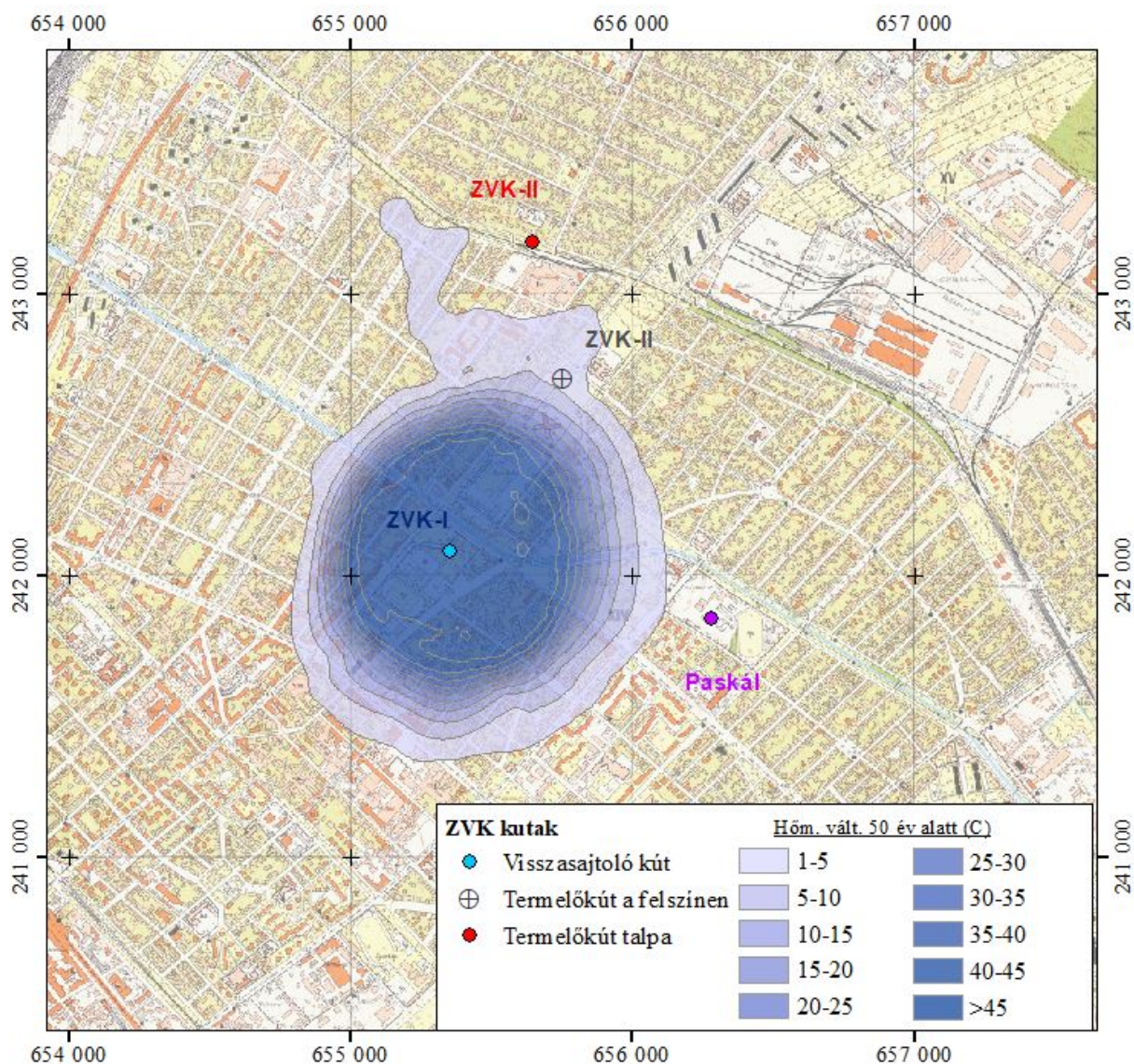
A legtöbb kút esetében a prognosztizált hatás számszerűsíthető ugyan de a valóságban nem lesz mérhető.

4.2.2 Hőmérsékleti hatás

A visszasajtolás során a befogadó közet hőmérsékleténél jóval alacsonyabb hőmérsékletű víz kerül vissza a felszín alá. A lehűlt víz folyamatosan hűti a környezetét. A hűlés következtében kialakuló számított réteghőmérsékletet 25 (a geotermikus védőidomra vonatkozó szabályozás) és 50 év (a vízbázis védelmi gyakorlatban alkalmazott időtartam) elteltével a **9. ábra** és **10. ábra** mutatja.



9. ábra: Számított hőmérséklet csökkenés 25 év elteltével



10. ábra: Számított hőmérséklet csökkenés 50 év elteltével

A tanulmány elkészítésében részt vett:

Davideszné Dömötör Katalin vezető tervező (13-6818)

Révi Géza vezető tervező (01-6817)

Budapest, 2025. június 17.


Révi Géza
 KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS MŰEMELKEZÉSI
 SZOLGÁLTATÓ ÉS KIVITELEZŐ KFT.
 Adószám: 10398128-2-41
 ügyvezető