



Multilaterális szénhidrogén kutak tervezése

Nagy Martin
Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Alapszak
Olaj- és gázmérnöki szakirány
3. évfolyam (2009)

Olajmérnöki Intézeti Tanszék
Konzulens: Dr. Szabó Tibor

Beadás: 2011.11.04

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	3
2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS	4
3. A TECHNOLÓGIA ELŐNYEI ÉS ALKALMAZÁSÁNAK FŐ TERÜLETEI	6
4. TERVEZÉSI SZEMPONTOK	8
4.1. Fúrólyuk ferdítése	8
4.1.1. Nyitott lyuk ferdítése	8
4.1.2. Béléscsővezetett lyuk ferdítése	12
4.1.3. A ferdeségnövelő szakasz fúrása	14
4.1.4. A laterális szakasz fúrása	14
4.1.5. Geosteering	15
4.1.6. Kis szelvényű fúrás	16
4.1.7. Felcsévélts csövű fúrás	16
4.1.8. Fúrólyuk ellenőrzése (Well Control) multilaterális kutak esetén	17
4.2. A kútkiképzés tervezési szempontjai	18
4.2.1. A telep szerkezete	18
4.2.2. Az elágazás körüli formáció karakterisztikája	18
4.2.3. Nyomáskülönbség az elágazásnál	18
4.2.4. A termelés és besajtolás irányítása	18
4.2.5. Újrabelépési kapacitás	19
4.3. Az elágazások besorolása	19
4.3.1. 1-es szintű kiképzés	20
4.3.2. 2-es szintű elágazás	20
4.3.3. 3-as szintű elágazás	21
4.3.4. 4-es szintű kiképzés	23
4.3.5. 5-ös szintű kiképzés	24
4.3.6. 6-os szintű kiképzés	25
5. A PUSZTASZÖLŐSI FÖLDGÁZTELEP	28
5.1. Geológiai jellemzők	28
5.2. A telepek jellemzői	28
5.3. A telep termelése hagyományos, horizontális kutak segítségével	29
5.4. A telepek termelése multilaterális kút segítségével	30
6. A KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSÚ KUTAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	35
6.1. A kutak hozamai	35
6.1.1. A telepekben található gázok eltérési tényezői	35
6.1.2. A kutak hozamegyenletei	37
6.2. A kutak költségei	39
7. KONKLÚZIÓ	40
IRODALOMJEGYZÉK	41

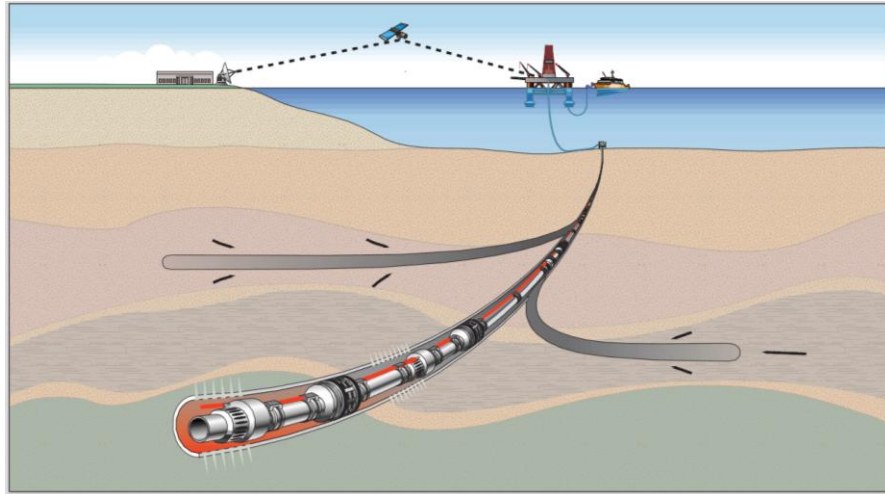
1. BEVEZETÉS

Az olaj- és gázkutak feladata többé nem csupán a szénhidrogénben gazdag formációkhoz való hozzáférés biztosítása, ezt a feladatot már több mint egy évszázada teljesítették, és napjainkban is ellátják, de sokkal fejlettebb és célirányosabb módon. Az elmúlt 20 év alatt először a horizontális, majd a multilaterális kutak gyors fejlődésével a kút-telep lefedettség mértéke nagyságrendekkel növekedett.

Multilaterális kutak használhatóak nem összefüggő geológiai formációkból történő termelésre, főleg olyan esetben amikor különálló kutak telepítése nem lenne célszerű. Az ilyen szerkezetek lencseszerű sóformációkat vagy fonalas szerkezetű csatornákat tartalmazhatnak, ahol a tárolók területileg megosztottak és a rétegzett rezervoárok függőlegesen nem összefüggő testekből állnak.

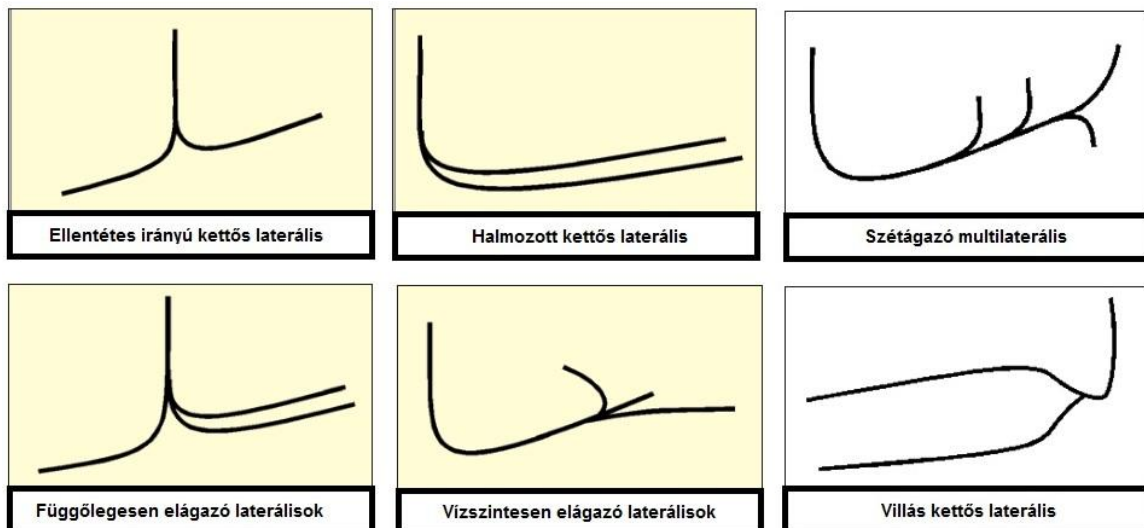
A lefedettség szintén nagyon fontos. Az alacsony mobilitású rezervoárok, amelyek alacsony permeabilitásúak vagy nagy viszkozitású folyadékot tárolnak, rendkívüli mértékben profitálnak a magas kút-telep lefedettségből. Az ilyen telepek közé tartoznak az alacsony porozitású és permeabilitású (ún. „tight oil”) telepek vagy a nehézolaj telepek. Az összes alkalmazás szigorú költségvetés felügyelete alatt áll, és míg a termelés költségvetése szinte általános, a kútkiképzés és fúrás költségei tág határok között mozognak. Tehát a kútterv, ami a világ egy adott szénhidrogén-lelőhely területén vonzó lehet, máshol nem biztos hogy alkalmazható.

A multilaterális kutaknak természetesen vannak sokkal kifinomultabb használati módjai is. Használhatóak a teleptermelési stratégiák hatékonyságának növelésére a horizontális kutak képességein felül.



1.1. ábra: Egy offshore multilaterális kút
Key Issues in Multilateral Technology [1998]

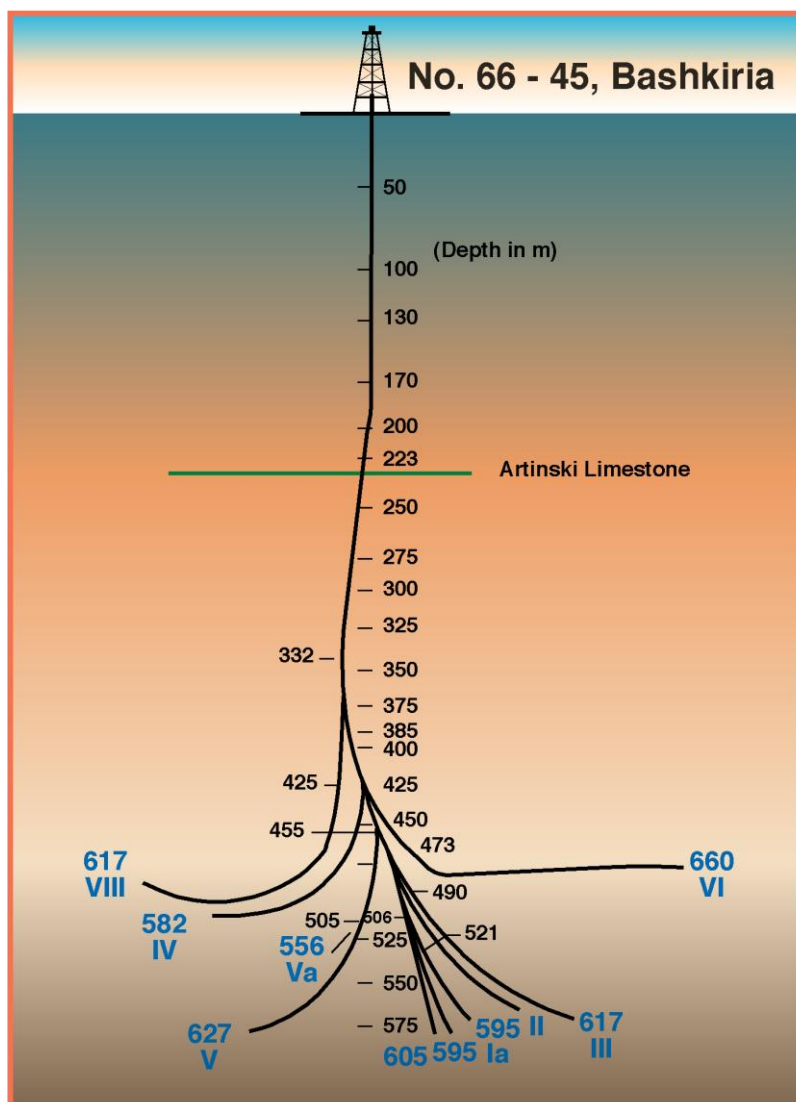
A multilaterális kút egy olyan kút, amelynek kettő vagy több csatornája (más néven ága vagy karja) nyílik a fő fúrólukból (más néven törzs, vagy anyakút). A fő- és mellékágak egyaránt lehetnek függőlegesek, vízszintesek vagy ferdek. Egy laterális szakasz (lateral) lehet egy a telep tetejétől fúrt kút egy vízszintes szakasza vagy az egész fúróluk elferdítve egy a telep fölött megadott ponttól. A multilaterális szó is ebből a szóból származik, jelentése egy adott fúrólukból fúrt több fúróluk. Ezek a lyukak lehetnek vízszintesek vagy ferdek is. A duál-laterális (dual-lateral) kút két lateráliszt tartalmaz, ezek általában 180 fokot bezárva nyílnak ugyanabból a fúrólukból. Az ág (branch) egy laterális szakaszból vízszintes síkban fúrt laterális. A halmazott laterális (stacked-lateral) kettő vagy több laterális leágazást jelent ugyanabból a fúrólukból különböző mélységeken. Az elágazó (branched) kút esetében kettő vagy több laterális szakasz nyílik azonos pontból.



1.2. ábra: Napjaink legelterjedtebb multilaterális kútszerkezetei
 Variations in Multilateral Well design and execution [1998] nyomán

2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Az első dokumentált multilaterális kutat 1953-ban Bashkíriában az akkori Szovjetunió területén fúrták. Ez egy relatíve kis mélységű kút volt 375 méteres mélységben kiinduló laterális szakaszokkal. A kút szerkezete komplex, de kifinomult volt tíz ággal.

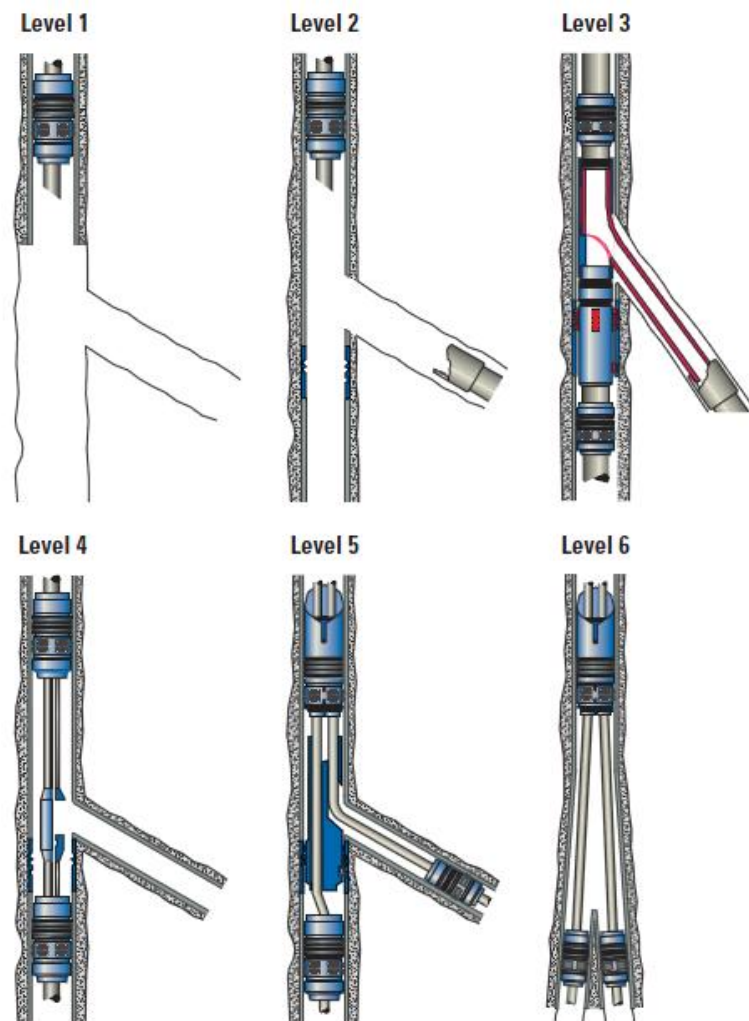


2.1. ábra: Az első multilaterális kútja Bashkiria-ban
Oil and Gas Journal [1998]

Az egykori Szovjetunió egyeduralkodó volt a multilaterális kutak telepítésében egészen 1984-ig. Ebben az évben a franciaországi Eschau-ban is telepítettek egy multilaterális kutat. A technológia fejlődését jelentősen visszavetette a 80-as évek közepétől a 90-es évek végéig lezajló háború és krízisek okozta tartósan alacsony olajár. Amerikában az első multilaterális kút fúrása 1979-ben, Texasban történt. Egy évvel később felállították a multilaterális kutak világrekordját Észak-Louisianában, ahol a Gardes Directional drilling nevű cég 10 laterális szakaszt fúrt ugyanabból a vízszintes kútból.

Fontos előrelépés történt az 1997-1998-as időszakban, amikor a Technology Advancement of Multi-Laterals (TAML) ipari konzorcium létrehozta a multilaterális kutak nevezéktanát, ami rövidesen ipari szabvánnyá vált.

Ez az osztályozási rendszer 6 szintre osztja a laterális szakaszt a fő fúrólukkal összekötő elágazást. Az 1-es szint a legegyszerűbb nyitott lyukú, a 6-os szint a legösszetettebb, teljes hidraulikus integritást nyújtó kiképzést jelöli.



2.2. ábra: Az elágazások osztályozási szintjei

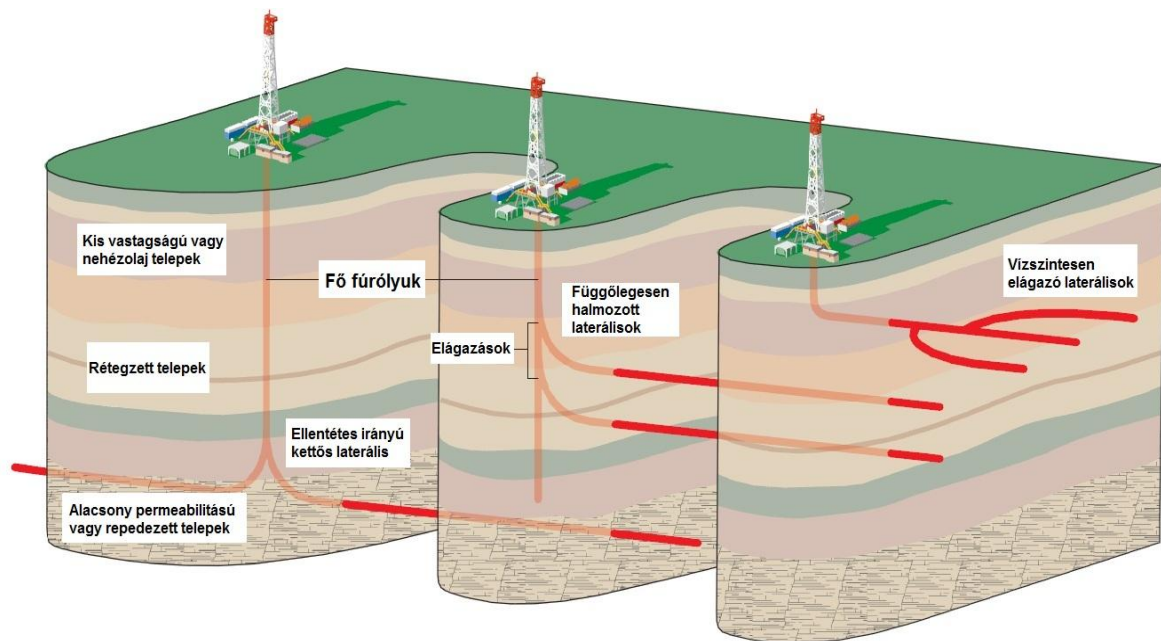
New Aspects of Multilateral Well Construction, Oilfield Review [2002]

1994-től 2003-ig több mint 600 darab 3-as és 6-os szint közötti kutat telepítettek világszerte, aminek több mint a fele 3-as szintű kút volt. Ezeknek a multilaterális kutaknak körülbelül 75%-a szárazföldi kút, 20%-uk offshore kút, és 5%-uk mélytengeri kút. A multilaterális kutak nagy többsége egyszerűbb, 1-es vagy 2-es szintű kút, amelynél a laterális szakaszok nyitott lyukúak vagy cementezetlenül, réselt vagy perforált betétcsővel vannak kiképezve. Napjainkig több ezer ilyen típusú multilaterális kutat fúrtak és képeztek ki.

3. A TECHNOLOGIA ELŐNYEI ÉS ALKALMAZÁSÁNAK FŐ TERÜLETEI

A multilaterális kutak fő előnye szerkezetükből fakad. Ugyanabból a fúrólukból a normál termelés többszörösét képesek nyújtani a nagyobb telep-lefedettségüknek köszönhetően. Egyetlen kút képes egy telep több pontjáról, vagy több telepből egyszerre, vagy igény esetén felváltva termelni. Ezáltal nagyobb készletek válnak elérhetővé egyetlen kút segítségével, vagy azonos készlet rövidebb idő alatt történő, gyorsított kitermelését is lehetővé teszik. Alkalmazásukkal jelentősen csökken a felszínen szükséges eszközök és felszerelések száma, valamint a felszíni létesítmények költsége is sokkal alacsonyabb, mintha több különálló kutat kellene kiszolgálniuk. Egy multilaterális kút rugalmas variálhatóságot és könnyű monitoringot tesz lehetővé olaj- és gázkutak esetében egyaránt, és a jövőbeli rétegelzáró műveletekkel elkerülhető a költséges újrafúrás (rétegelzárás során cementdugóval a kút egy vagy több részét lezárják).

A multilaterális kutak alkalmazása rendkívül széleskörű, mivel rendkívül költséghatékony, széles körben adoptálható a helyi viszonyok függvényében és szabad konfigurálhatóságának köszönhetően szinte bármilyen igény alapján össze lehet állítani a kút szerkezetét. Alkalmazásuk legfőbb területei az úgynevezett „tight”, vagyis alacsony porozitású és/vagy permeabilitású, nagymértékben tagolt, vagy nem összefüggő telepekből való termelés. Szintén kiválóan alkalmazhatóak ugyanabból a telepből több ponton történő komplex termelési modellek megvalósítására, vagy már termelésben lévő telep termelésének javítására. Megkönnyítik a különböző EOR (Enhanced Oil Recovery) módszerek alkalmazását, például segítségével megoldható a termelés és besajtolás ugyanazon a kúton keresztül. Kutatófúrásoknál multilaterális kút segítségével kiterjeszthető a kutatás, akkor is ha a fő kút úgynevezett száraz kút (olyan kút, amely nem ért telepet) lett.



3.1. ábra: Multilaterális kutak alkalmazásai

New Aspects of Multilateral Well Construction (2002) nyomán

A telep szerkezete és a tartalmazott fluidumok kulcselemek a kút szerkezetének, lyukak útvonalának és a kútkiképzés tervezésekor. A telep heterogenitása és anizotróp viselkedése szintén fontos szerepet játszanak. A kút termelési hatósugarának a térfogata és geometriája határozza meg, hogy a telepet hagyományos függőleges-, vízszintes-, vagy multilaterális kúttal érdemes termelni.

4. TERVEZÉSI SZEMPONTOK

Kétségtelenül a multilaterális kutak megjelenését lehetővé tévő technológiát a ferde fúrás terén elért hatalmas fejlődés szolgáltatta. A több, teljesen tetszőleges pályájú fúróluk kontrollált fúrásának képessége teszi a multilaterális kutakat vonzó termelési eszközzé.

Egy multilaterális kút fúrása három fő lépésből áll:

1. A fő fúróluk fúrása – ez nem különbözik bármilyen hagyományos kút fúrásától amíg el nem éri az első laterális szakasz kiferdítési helyét. Ennél a mélységnél különleges műveletek veszik kezdetüket.
2. Fúróluk ferdítése a fő fúrólukból – a fő fúrólukból történő új fúróluk fúrása egy multilaterális kút megkülönböztető jellegzetessége. Az új lyukszakasz kialakítási módszerének megválasztásakor nagy a jelentősége annak, hogy a kút eredetileg multilaterálisnak volt tervezve, vagy egy esetleges újrabelépés során válik azzá egy szimpla fúrólukból.
3. A laterális szakaszok fúrása – a különböző laterális szakaszok irányított fúrása a hagyományos vízszintes fúrólukak fúrásához hasonlít. Keskeny szelvényű- és/vagy felcsévélte termelőcsöves fúrési módszerek is széleskörűen alkalmazottak. A laterális szakaszok pályáinak irányítása a multilaterálisok fúrásának kritikus része.

4.1. Fúróluk ferdítése

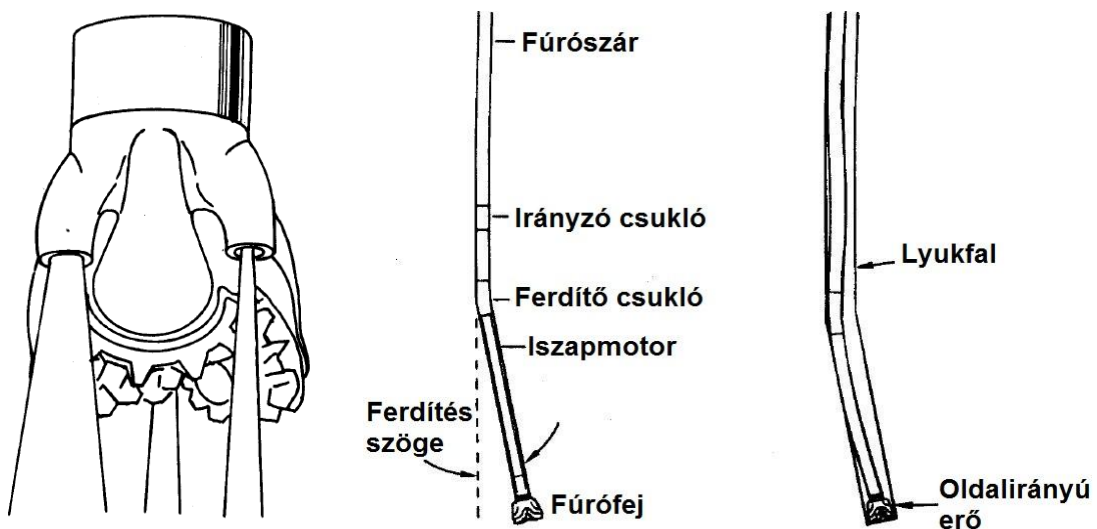
4.1.1. Nyitott lyuk ferdítése

Nyitott fúróluk esetében egy új fúróluk indításához a fúrófejet valahogy kényszeríteni kell, hogy a már meglévő fúróluk mélyítése helyett annak falába fúrjon. A ferde lyuk ezen kezdeménye három módszerrel alakítható ki [Taylor & Russell, 1997]:

1. Nagynyomású folyadéksugarú fúrófej (jetting bit) vagy iszapmotor és ferdítő csukló használatával egy helyen történő lassú fúrás használatával bevágás kialakítása a fő fúróluk falán, amiből a laterális szakasz kiindulhat.
2. Cementdugó behelyezése a fő fúrólukba, majd a dugó tetejéről kiferdítés, hogy létrejöjjön az oldalág.
3. Nyitott lyukfalú tömítő (openhole packer), majd a ferdítópálya behelyezése, ami a fúrófejet a kívánt irányba vezeti.

4.1.1.1. Bevágás „időzített fúrása”

A nyitott lyuk kiferdítése egy viszonylag egyszerű módszere a speciális fúrófejjel vagy szerszámösszeállítással történő lassú fúrás, ami eltéríti a fúrószárat az eredeti útvonaláról. Erre a célra vagy nagynyomású folyadéksugarú fúrófejet vagy térfogati kiszorítású iszapmotort használnak. A nagynyomású folyadéksugarú fúrófej (jetting bit) egy nagyméretű fúvókával rendelkezik, melyen a fúróiszap meghatározott irányban nagynyomású folyadéksugár formájában lép ki, ami a kívánt helyen erodálja a lyukfali formációt. A kívánt vágat létrehozásához a nagy fúvókát a kívánt irányba fordítják, megkezdik a pumpálást majd nagy fúróterhelést alkalmaznak. A folyadék a nagy fúvókán kiáramolva erodálja a lyukfalat, miközben az egész fúrószár előre-hátra mozog, ezzel egy vágatot kialakítva az eredeti fúrólyuk egyik oldalán. Egy 1-1,8 méteres „zseb” kialakítása után a lyukat hagyományos módon fúrják tovább körülbelül 6 méter hosszan. Ezután a folyamatot addig ismétlik, amíg a mellékág el nem éri a kívánt irányt és szöget.



4.1. ábra: Nagynyomású folyadéksugarú fúrófej és Iszapmotor és ferdítő csukló

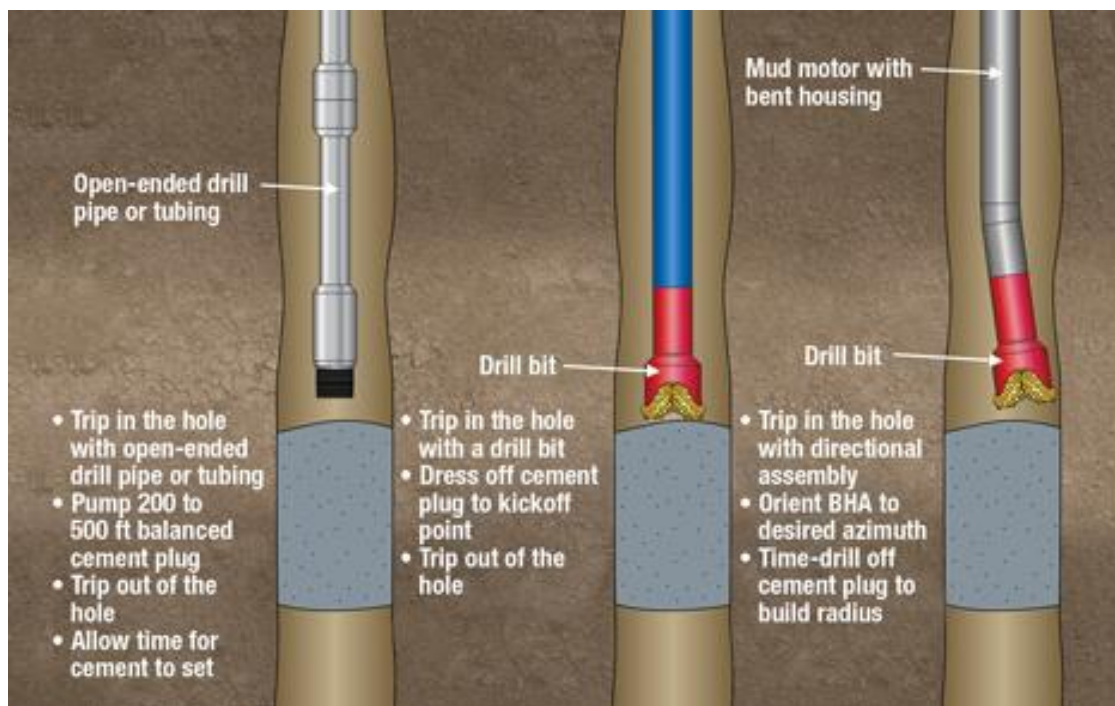
Applied Drilling Engineering, SPE Textbook (1986)

A fő fúrólyuk falán szükséges vágatot iszapmotor és ferdítő csukló alkalmazásával is ki lehet alakítani. Az iszapmotor fölött található fúrószár kanyarulata oldalirányú erőt kelt a fúrófejen, ami a lyuk egyik oldala felé kényszeríti. A módszer sikerességéhez elengedhetetlen a fúrófej megfelelő irányba állítása, majd ezután a fúrás az iszapmotor segítségével halad tovább.

4.1.1.2. Kiferdítés cementdugóról

Szintén általános ferdítési módszer nyitott lyuk esetén egy cementdugó lehelyezése, ami eltéríti a fúrófejet a puhább formáció felé. A ferdítés kivitelezhető flexibilis szerszámösszeállítással is, de csak akkor, ha a cementdugó kompresszibilitása kisebb, mint a rétegé. A cementdugó tetején történő fúrás kezdetekor, megfelelő fúróterhelés mellett a súlyosbítók kihajlanak, ezzel oldalirányba szorítják a fúrófejet.

A technológia legfőbb előnye a relatív olcsósága, valamint hogy nincs szükség külön felszerelésre vagy személyzetre a kivitelezéshez. Hátránya, hogy ezzel a technikával nem lehet pontosan irányítani a ferdülés irányát, valamint meg kell várni a cement megszilárdulását és csak megfelelő minőségű cementezés mellett működik.



4.3. ábra: Cementdugóról történő kiferdítés menete

World Oil Online Vol. 231 No. 6

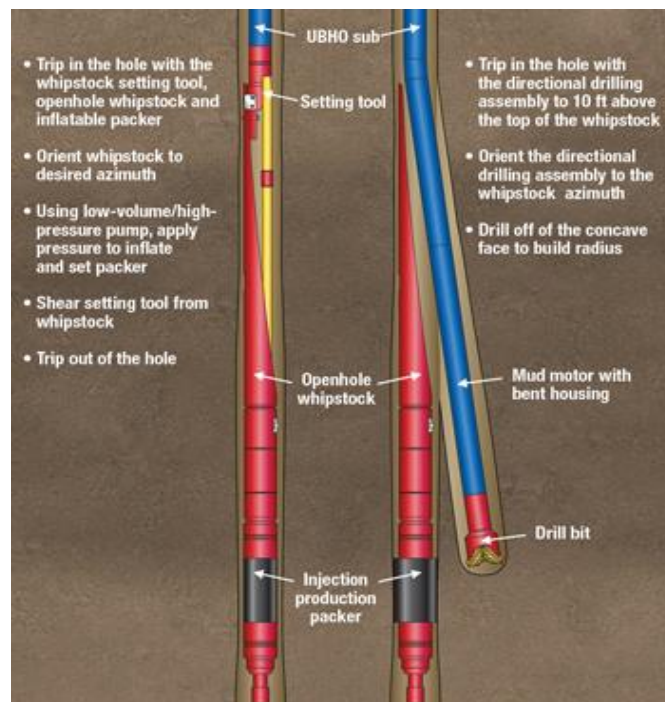
4.1.1.3. Ferdítő elem használata nyitott lyukban

Multilaterális kutak esetén a legjobban kontrollálható mód ferde fúrólyuk létrehozására a fúrófej eltérítése ferdítőpálya alkalmazásával. A ferdítőpálya (whipstock) egy ék alakú homorú felületű eszköz, ami a fúrófejet (vagy marófejet) a felülete mentén kitéríti a fúrólyuk tengelyéből. A ferdítőpályát nagyon pontosan el lehet helyezni, így a ferdítés pontosan a kívánt irányban kezdődik. A modern ferdítőpályák általában össze vannak szerelve a marófejjel, így a ferdítőpálya és a marószerszám egyszerre építhető be a lyukba.

Egy új laterális szakasz kiindulása nyitott lyukú kút esetén ferdítőpályával a következő lépésekből áll:

1. A kombinált ferdítőpálya-marószerszám együttes (ami magában foglalja a MWD rendszert és más, a megfelelő irányba állításhoz szükséges csuklókat) telepítése.
2. Ha a szerszám a megfelelő mélységbe ért, a ferdítőpályát a tervezett kilépési irányba kell fordítani, majd a nyitott lyukbeli ferdítőpálya-rögzítő kiültetése következik.
3. A marószerszámot a fúroszár megfelelő feszítésével vagy nyomásával leválasztják a ferdítő elemről.
4. A marószerszám a ferdítőpálya által kijelölt úton kifúrja az ferde lyuk kiinduló szakaszát.
5. A marószerszámot kiépítik, és fúroszerszámot építenek be, hogy befejezze a laterális szakasz fúrását. A ferdítőpálya platformként szolgál a fúrás során.
6. A laterális szakasz fúrásának befejezése után a ferdítőpályát kiépítik, amennyiben az erre alkalmas.

A nyitott lyukbeli ferdítőpálya használata során nehézséget okozhat az elem egy helyben tartása a ferdítés ideje alatt. Az elemet olyan formációban kell elhelyezni, ahol azt a rögzítő vagy tömítő elem biztosan rögzíti. Az átlagos nyitott lyukbeli rögzítők esetén a lyukfal egyenetlenségei megakadályozhatják a szoros rögzítést. Az elmúlt évtizedekben különféle felfújható tömítő elemeket fejlesztettek ki, amelyekkel biztosan lehet rögzíteni a ferdítő elemeket egyenetlen lyukfal esetén is [Stokey and Seale, 2000].



4.4. ábra: Ferdítőpálya alkalmazása nyitott lyuk esetén

4.1.2. Béléscsővezetett lyuk ferdítése

Béléscsővezetett kútkiképzéseknél egyesével készülnek az oldalágak.

A ferdítés módszerei:

1. Egy szekció marása, cementdugó lehelyezése majd iszapmotor és ferdítő csukló segítségével ferdítés a cementdugó tetejéről a kívánt irányba.
2. Egy kiépíthető, irányzott ferdítópálya beépítése, majd egy „ablak” marása a béléscső kívánt oldalába.
3. A béléscső rakat kihúzása és ferdítés nyílt lyukfal mellett.

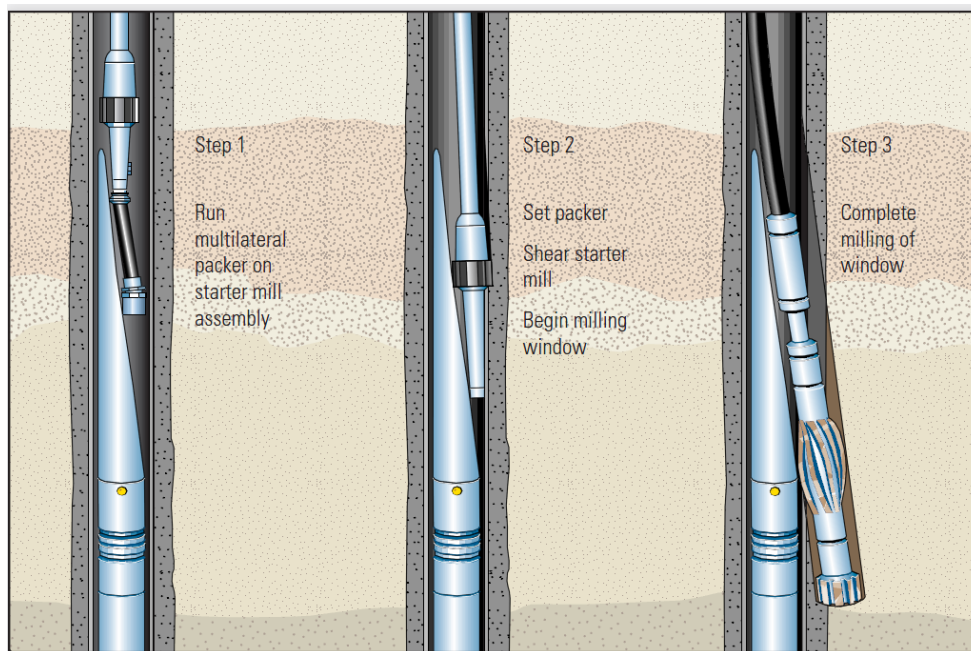
A legelterjedtebb módszer a ferdítő elem segítségével történő ablak marása, bár néhány alkalmazásban az adott szekció marása marad a leginkább gazdaságos megoldás a ferdítés megkezdésére.

4.1.2.1. Adott szegmens marása

A béléscső egy részének marással történő eltávolítása régóta elterjedt módszer ferde mellékág készítésére béléscsővezetett kútban. Ezzel a technikával egy speciális, meghosszabbítható vágószerszámmal rendelkező fúrófejet, az úgynevezett szekciós marót használnak a béléscső rövid szakaszon történő eltávolítására. A szekciós maró segítségével ki lehet marni a béléscsővet a mellékág kiindulási helyén. Ezután egy cementdugó kerül lehelyezésre, majd a ferdítés iszapmotor és ferdítő csukló segítségével indul. A szekciómarás során nagy mennyiségű fémhulladék keletkezik, amit ki kell öblíteni a lyukból, valamint nem alkalmas a ferdítés irányzására. Így ez a módszer a cementdugóról történő ferdítéshez hasonlóan irányzó eszközök használatát igényli. Ezen okok miatt a laterális szakaszok kezdő szakaszai béléscsővezetett lyukakból általában ferdítópálya segítségével történő ablak marásával készülnek.

4.1.2.2 Ferdítópálya segítségével béléscsővezetett lyukban

Béléscsővezetett lyukak esetén a fúrólyuk ferdítése általában ferdítópálya és a béléscső megfelelő irányban található fala felé irányított marószerszám segítségével történik. A ferdítő elemek gyakran egybeépített tömítő, ferdítópálya és marószerszám szerkezetűek, hogy minimálisra csökkentsék a szükséges ki- és visszaépítések számát. Ezekkel a szerkezetekkel lehetséges az irányzás, ferdítópálya rögzítése és az ablak marása köztes kiépítések nélkül.



4.5. ábra: Ablak marása ferdítőpálya segítségével
New Aspects of Multilateral Well Construction (2002)

Fontos biztosítani, hogy a tervezett ablak helye a lyuk jól cementezett részén legyen, valamint az ablak megfelelően legyen elhelyezve, és a bélésű középső részébe legyen vágva és ne a bélésűek kapcsolódási pontjába. Amennyiben egy multilaterális kútnál az ablakok helyei a bélésű behelyezése előtt megállapíthatóak, akkor előre kimart ablakok is használhatók. Az előre kimart ablakok különleges bélésű kapcsolók, amelyeken még a lyukba helyezés előtt ki lett vágva az ablak. Az így keletkezett lyuk üvegszállal, alumíniummal vagy egyéb puha anyaggal van lefedve, ami könnyen kimarható, de elég erős, hogy ne roppanjon össze cementezés közben. Az előre kimart ablakok előnye, hogy a fúrófej könnyedén át tud hatolni a bélésűvön, és a folyamat során kevesebb fémhulladék keletkezik. Azonban ezt a módszert csak új kutaknál lehet alkalmazni, nehéz a telepítésük és megnövelik a cementezéshez szükséges időt.

Egy új laterális szakasz kezdőfázisa bélésűvezett kút esetén ferdítő elemmel a következő lépésekből áll:

1. A szerszámösszeállítást a kívánt mélységbe helyezik, majd irányozzák (az irányzó csukló a fúrószárban a ferdítő elem/maró szerszám fölött található).
2. Tömítő segítségével rögzítik a ferdítő elemet, majd a kiinduló marószerszámot nyomás vagy húzás segítségével leválasztják.
3. A kiinduló marószerszám elkészíti az ablakot a bélésű falán keresztül, majd az ablak méretét ferdítő- és dinnyemará alkalmazásával megnövelik. A ferdítő ablakok átlagosan 2,5-6 méter hosszúak a bélésű méretétől és a ferdítő elem szögétől függően.

4. Az ablak befejezése és a ferdített laterális szakasz megkezdése után a szárat kihúzzák, majd kúpos és dinnyemaró szerszámokkal addig tágítják az ablakot, amíg nem alkalmas a laterális szakasz fúrásához használt szerszámösszeállítás befogadására.

4.1.3. A ferdeségnövelő szakasz fúrása

Amint a fő fúrólyukból nyíló ferdített lyuk elkészült, a laterális ferde fúrásnál használt technikákkal fúrják ki. A laterális szakasz pályája a fő fúrólyukéhoz képest olyan lyuktalpi szerszámösszeállítással változtatható, amely a kívánt léptékben változtatja a lyuk szögét. A ferdeségnövelés mértékét általában a fúrófej és iszapmotor fölött található ferdítő csukló (vagy csuklók) szöge szabályozza. A ferdeségnövelő szakasz tipikusan hosszú-, közepes- vagy rövid sugarú, amit a ferdeség növekedési mértékével vagy a görbület sugarával lehet meghatározni. A ferdeségnövekedés mértéke a fúrólyuk irányváltozásának mértéke egységnyi hossz- vagy mélységváltozás alatt, gyakran fok/100 láb vagy 30 méter mértékegységgel adják meg.

4.1. táblázat: Ferdeségnövelő szakaszok típusai

Ferdeség típusa (Build type)	Ferdeség növelési mértéke [°/100 láb]	Görbület sugara [láb]
Hosszú	1-6	1000-6000
Közepes	6-20	300-1000
Rövid	20-200	30-300

Bár gyakran gondolunk a fő fúrólyukra függőleges lyukként, ahol a kiinduló ferdítő szakaszok változtatják a laterális szakaszok irányát függőlegesről vízszintesre, valójában a laterálisok pályája a fő fúrólyukhoz képest bármilyen lehet. Néhány általános esetben a fő fúrólyuk maga is lejt valamelyik irányba és a különböző laterálisok a fő fúrólyukkal azonos, vagy attól eltérő síkban lépnek ki.

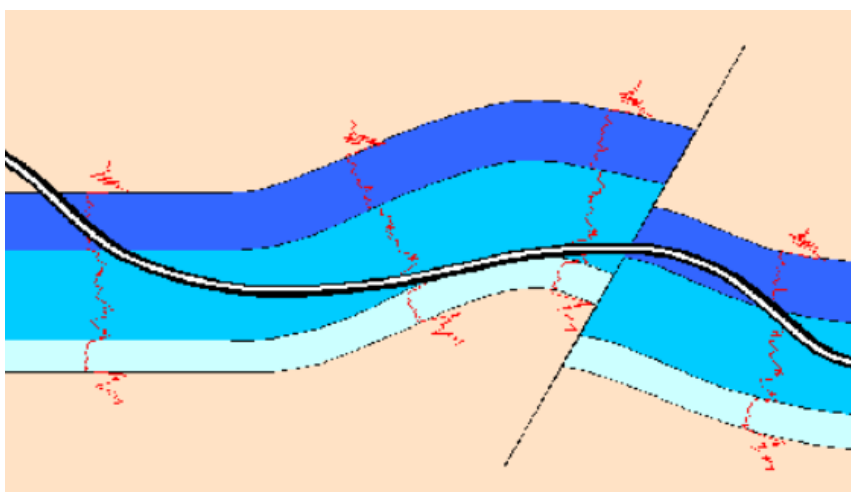
4.1.4. A laterális szakasz fúrása

A fő fúrólyukból fúrt laterális szakasz bármilyen pályájú és lejtésű lehet a termelési szakasz során. Mivel az irány a fő fúrólyukhoz képest változik, és a laterális szakaszok az esetek többségében vízszintesek, ezért irányított ferdefúrési technikákat alkalmaznak ezen szakaszok fúrására. Tehát a laterális szakasz fúrása a fúrólyuk ferdítése után nagymértékben hasonlít a vízszintes fúrólyukak fúrásához. A laterális szakasz fúrásának kritikus eleme az ún. geosteering, a formáció geológiai tulajdonságainak felhasználása a fúrófej haladási irányának meghatározására. Továbbá vannak vízszintes fúrési technikák

amelyek különösen illenek a laterális szakaszok fúrásához, többek között a kis szelvényű és felcsévélt csövű fúrás.

4.1.5. Geosteering

A komplex telepek multilaterális kutak segítségével történő hatékonyabb kitermelése nagyon erősen függ a geosteering-től. A geosteering a fúróluk pályájának a fúrás során begyűjtött geológiai információk alapján történő valós idejű irányítása. Legegyszerűbb alkalmazásában a feladata a laterális szakasz fúrasi irányát a lehető legtovább a telepen belül tartani, de más esetekben az elsődleges cél lehet meghatározott távolság tartása gáz- vagy vízhatártól. A vezérléshez szükséges információ a fúrasi körülmények megfigyeléséből, iszapszelvényből, vagy LWD-ből (Logging While Drilling - fúrás közbeni szelvényezés) származik. A modern LWD eszközök képesek a formáció számos paraméterét mérni, többek között a formáció fajlagos ellenállását vagy a természetes gammasugárzását. A mért értékek telemetrikus módszerekkel jutnak a felszínre, például pulzusokkal a fúrószapon keresztül vagy elektromos jelként vezetéken, ez utóbbi főleg felcsévélt csővel történő fúrásnál jellemző. A lyuktalpi szerszámösszeállításban egy helyzetérzékelő szenzor is helyet kap, aminek feladata a fúrófej pontos helyének a meghatározása gyorsulásmérők, giroszkópok és magnetométerek segítségével. A modern lyuktalpi szerszámösszeállítások tartalmaznak állítható kiferdítő csuklókkal rendelkező lyuktalpi motorokat és lyuktalpi irányzó egységet annak érdekében hogy a fúrófej mindig megfelelő irányban álljon. A szerszámösszeállításban található csuklók teszik lehetővé, hogy a fúrómester a megszerzett geológiai adatok alapján folyamatosan újraindírozza a fúrófejet.



4.6. ábra: Geosteering segítségével sikerült tovább a telepen belül tartani a kút pályáját

<http://www.geosteering.co.uk/2.html>

4.1.6. Kis szelvényű fúrás

Ez a fúrási technika a normálisnál kisebb méretű fúrófejjel történő fúrást jelent, amit gyakran alkalmaznak multilaterális kutak fúrásakor. A kisebb lyukátmérőre egyszerűen költségcsökkentés céljából is eshet a választás, de általában a kútkiképzés korlátai vagy a fúróberendezés teljesítménye is befolyásolja a döntést, főleg ha felcsévelt csővel történik a fúrás. A kis méret és a fúrószár kis súlya miatt akár kútkezelő és javító berendezésekkel is végezhető a fúrás, csökkentve a laterális szakaszok fúrásának költségeit egy hagyományos berendezéssel vagy felcsévelt csővel történő fúrással szemben.

4.1.7. Felcsévelt csövű fúrás

A felcsévelt csövű fúrás (coiled tubing drilling, CTD) alapvető gyakorlattá vált laterális szakaszok fúrásánál a világ több részén, különösen ott ahol a hozzáférés nehéz és drága, mint például az Északi-tengeren vagy a Közel-Keleten. Felcsévelt csövű fúrásakor a lyuktalpi szerszámösszeállítás beépítése felcsévelt cső végén történik, ezzel kiiktatva a fúrószár elemeinek egymáshoz csatlakoztatását, mint a fúrási folyamat részét. A felcsévelt csövű egység a tekercselődobból, az arra felcsévelt csővezetékéből, a csővezeték a kútfejbe irányító hattyúnyakból, a csővezeték a kútba nyomó besajtoló fejből, valamint a meghajtó és vezérlőegységekből áll.

A technológia számos előnnyel rendelkezik a hagyományos fúrócső összeillesztésével történő fúrással szemben, amennyiben a fúrando lyuk átmérője nem túl nagy. Egy felcsévelt csövű fúróegység kisebb, mint egy hagyományos rotary fúróberendezés, így mobilisabb, könnyebben szállítható. A csatlakozások nélküli fúrás miatt kevesebb emberre van szükség a fúrás során, de a legnagyobb előnye már termelő kútban történő fúrólyuk ferdítéskor jelentkezik, mivel a felcsévelt csővezeték át lehet vezetni a termelőcső rakaton. Lehetőség van elektromos dróthuzal telepítésére, ami az iszapban terjedő impulzusoknál pontosabban és gyorsabban képes valós idejű információkat a felszínre közvetíteni.

A technológiának azonban hátrányai is vannak, ezek főleg a csővezeték kisebb átmérőjéből és kisebb szilárdságából adódnak. Komoly problémát jelent a nagymértékű súrlódási nyomásvesztés is, mivel az iszapnak teljes csővezetéken át kell haladnia függetlenül attól, hogy ennek mekkora része van a fúrólyukban. Ez alacsony áramlási sebességhez és öblítési problémákhoz vezethet. Ez a cső az általában használt merevebb fúrószárnál sokkal könnyebben horpad, törik és roppan össze, ezért nem képes ugyanakkora terhelés átadására. A csővezeték nem lehet forgatni, ezért a megszorulás

veszélye is nagyobb. A problémák kiküszöbölésének és az előnyök egyesítésének érdekében hibrid felcsévélt csövű/karbantartó berendezéseket fejlesztettek ki.

4.1.8. Fúrólyuk ellenőrzése (Well Control) multilaterális kutak esetén

Multilaterális kutaknál a well control eljárások nagyrészt megegyeznek a hagyományos kutaknál használtakkal, kivéve hogy egy, vagy több laterális szakasz a termelő réteg felé jelentős ideig nyitott állapotban lehet, miközben a többi laterális szakasz még fúrás alatt áll. Az alapvető eljárás felülsúlyozott állapot fenntartása az összes laterális szakaszban a fúrási folyamatok alatt. Azonban az alulsúlyozott fúrás, vagy az úgynevezett dinamikus felülsúlyozott fúrás gyakran alkalmazott eljárás multilaterális kutak felcsévélt csövű fúrásakor, ahol a felszíni folyadékkezelési képességek lehetőséget adnak alulsúlyozott körülményekre a lyuktalpon. A dinamikus felülsúlyozott fúrási technika olyan sűrűségű iszappal dolgozik, ami nem elegendő felülsúlyozott körülmények létrehozására a fúrófejnél, azonban a gyűrűstérben az öblítéskor fellépő súrlódási nyomásvesztés elég nagy ahhoz, hogy fúrás közben felülsúlyozott körülményeket biztosítson. A lyuktalpi nyomást folyamatosan mérni kell ahhoz, hogy irányítani lehessen ezt a fajta fúrási folyamatot.

Ha egy már kiképzett laterális szakaszban a réteget meg kell védeni a többi laterális szakasz fúrásának idejére, néha zselé- vagy cementdugót helyeznek a már kiképzett laterális szakaszba, miközben a fúrás folytatódik a kút többi szakaszában. Ezeket a dugókat a kút termelésbe helyezése előtt el kell távolítani. Magas szintű elágazással lehetséges a laterális szakasz elszigetelése a többitől a fúrási és kútkiképzési folyamatok idejére.

4.2. A kútkiképzés tervezési szempontjai

4.2.1. A telep szerkezete

A multilaterális kutak alkalmasak a telep egy adott szakaszából, vagy egy többkomponensű telepből történő termelésre. A duál-laterális és tri-laterális kiképzések, valamint a fish-bone (halcsontváz) szerkezetek jó példák az egyfázisú telepből történő termelésre multilaterális technológiával, ezek az úgynevezett multi-branched, vagyis több ágú kutak. Ha az adott telep több különböző rétegében több mint egy laterális szakasszal van kiképezve a kút, akkor a multilaterális kutak közös fúrólukon osztozó szimpla kutakként viselkednek. Ez nagymértékben megnöveli a multilaterális kutak gazdasági előnyét. Ez magában foglalja a különböző telep- és fluidum-tulajdonsággal rendelkező különböző rezervoárszegmensekből történő egyesített termelést is. Ha az elágazás környezetében található rétegsorok feletti kontroll nem kritikus fontosságú, valamint a formáció alkalmas rá, akkor az elágazások tervezésekor pénzügyi okokból törekedni kell a minél alacsonyabb szintű elágazás kiépítésére. Ha a környezet feletti kontroll fontos, akkor egy nyílt lyukfalú elágazás készítése nem biztos, hogy megfelel a termelési követelményeknek és egy magasabb szintű elágazás kiépítésére lehet szükség a laterális szakasz elszigetelhetőségének érdekében.

4.2.2. Az elágazás körüli formáció karakterisztikája

Általában a ferde szakasz kilépési pontját a formáció egy stabil, konszolidált szakaszába kell tervezni. Amennyiben ez nem lehetséges, akkor az elágazás stabilitásának megőrzésének érdekében a szabad lyukfalúnál magasabb szintű elágazás szükséges.

4.2.3. Nyomáskülönbség az elágazásnál

A telep nyomáseloszlása változik a termelés során. A kút tervezésekor fontos figyelembe venni a kút tervezett élettartama során a fokozatos kimerüléssel járó nyomáscsökkenést, mint csupán a telep kezdeti rétegnomásával számolni. Ha a kút élete során előreláthatólag valamelyik ág hidraulikai izolációjára lesz szükség, akkor oda célszerű magasabb szintű elágazást telepíteni.

4.2.4. A termelés és besajtolás irányítása

A telep különböző területeiről történő egyesített termeléshez a területi izoláció, a termelésirányítás, valamint a kút és a telep teljesítményének optimalizálása szükséges lehet a különböző szabályok vagy környezeti feltételek miatt. Ha egy laterális szakaszban túl nagy a beáramló víz hányada, akkor az adott szakasz elszigetelésére is szükség lehet,

vagy egy, a termelésbe kapcsolt laterális szakasz a kút élete során később besajtoló ággá válhat. Az elágazásoknál történő irányítás és izolálás szükséges az egyesítetten termelő multilaterális kutak vezérléséhez. A kút belsejében és a laterális szakaszokban folytatott monitoring segít észlelni a nagy arányban vizet termelő ágakat, a keresztáramlásokat és különböző termelési problémákat. A kútban történő áramlások irányítása sok problémát képes kiszűrni, valamint a termelés optimalizálásához is hozzájárul. A magas szintű, fejlett technológiával rendelkező elágazások, melyek folyamatos monitoringra és vezérlésre képesek, rendkívül fontosak az egyesített termelésű multilaterális kutak teljesítményének szabályzására.

4.2.5. Újrabelépési kapacitás

Újrabelépésre sok esetben szükség van, például karbantartási, vagy kútserkentési műveletek során. Szabad lyukfalú kútkiképzés esetében korlátozott az újrabelépés, mivel a lyukfalat nem támasztja béléscső, valamint a lyukhoz való hozzáférés nem garantált. A multilaterális technológia fejlődésének korai szakaszában a multilaterális kutak túlnyomó része a költséghatékonyság érdekében szabad lyukfalú volt. Napjainkban a magasabb szintű multilaterális kutak sokkal jobban definiált elágazásokkal rendelkeznek, amelyek többféleképpen is lehetővé teszik az újrabelépést.

A kútkiképzés szolgáltatja a kapcsolatot a telep és a fúrólyuk között. Multilaterális kutak esetében a laterális szakasz kiképzésének típusa nagyon hasonlít a vízszintes kutakéhoz, azonban a ferde- és vízszintes kutakkal szemben a multilaterális kutaknál a szabad lyukfalú kiképzések még mindig mindennaposak az elágazás kiképzésének magas ára és összetettsége miatt. Réselt betétcsővel és előre beépített szűrőkkel sokkal stabilabb fúrólyuk képezhető, ezért ezek az eszközök széles körben elterjedtek.

4.3. Az elágazások besorolása

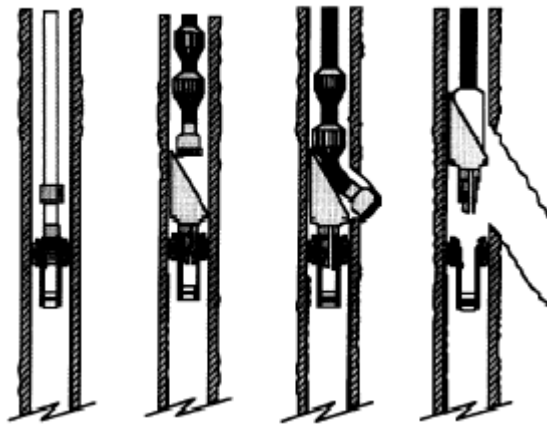
Multilaterális kutak esetében az elágazások kiképzése a kútkiképzés kulcsfontosságú lépése. Az elágazás típusának megválasztása a fent ismertetett szempontok alapján történik. Az elágazások legelfogadottabb besorolási rendszere a TAML (Technology Advancement – Multi Laterals) által 1997-ben készített, majd 2002-ben frissített kiképzési szabályzata. A TAML besorolás 6 szintre bontja a multilaterálisokat, ahol az 1-es szint a legegyszerűbb, a 6-os szint pedig a legfejlettebb kiképzést jelöli.

4.3.1. 1-es szintű kiképzés

Az 1-es kiképzési szint egy nyílt lyukú főfúrólukból fúrt nyílt lyukú laterális szakaszt jelent. Sem mechanikai megtámasztás, sem hidraulikus szigetelés nem található az elágazásban. A multilaterális kutak mélyítésének korai szakaszától kezdve sok kútban esett a választás erre a szintre egyszerűsége és alacsony költsége miatt. Nincs szükség ablak marására, valamint a telepített lyuktalpi termelőeszközök száma nulla vagy minimális, ezzel meghagyva a fúróluk teljes méretét a termeléshez. Az 1-es szintű elágazások kellően konszolidált réteget igényelnek a támasz nélküli elágazás és laterális szakasz miatt. Sok nehézséget tartalmazó rétegbe fúrt multilaterális kútnál alkalmaznak 1-es szintű elágazásokat a szerteágazó laterális szakaszaikban (laterális szakaszból fúrt oldalágakban) a telep jobb elérésének érdekében. A termelés irányítása és a rétegek izolálása általában nem megvalósítható egyesített termeléskor. Ennél a szintnél az újrabelépés biztonsága vagy lehetősége sem garantálható. Ezek a hátrányok jelentősen korlátozzák az 1-es szintű elágazások felhasználási lehetőségeit.

4.3.2. 2-es szintű elágazás

A kettes szintű elágazásnál a fő fúróluk béléscsővezve és cementezve van, de a laterális szakasz egyszerű kiképzésű, például nyitott lyukú vagy pedig réselt betétcső vagy előre beépített szűrő „lóg” bele a fő fúrólukból. A fő fúróluk cementezése miatt előre kimart ablakon keresztül, vagy a béléscső kimarásával lehet ferdíteni a laterális szakaszt. A laterális szakasz fúrása után az elágazáshoz két tömítő közé tolózarat telepítenek, és nyitott lyukként hagyják a laterális szakaszt. A tolózár nyitott állásában a két lyukszakasz együttesen termel. Ha rétegizolációra van szükség, például vízbetörés vagy más termelési probléma miatt le kell zárni az alsó szakaszt, akkor ez megoldható egy, az alsó tömítőbe helyezett dugóval, az oldalsó laterális szakasz lezárása pedig a tolózár zárásával oldható meg. Ennél a kiképzésnél mindkét szakaszból történő egyesített termelés különválasztása a termelőcsövön belül már nem lehetséges, valamint az újrabelépés lehetősége is korlátozott a tolózár miatt.



4.7. ábra: Egy 2-es szintű elágazás kiképzésének folyamata
(SPE 38493)

A 2-es szintű kiképzések egy másik típusa átáramoltatható kiferdítő pályát (flow through whipstock) és erre függesztett réselt betétcsövet alkalmaz. Ez a megoldás az elágazásnak további mechanikai támaszt nyújt a betétcső segítségével. A megoldás hátránya, hogy sok helyet elfoglal a fő fúrólukban, amivel az újrabelépést is jelentősen korlátozza, valamint a termelés is csak együttesen oldható meg a rétegizoláció hiánya miatt. A 2-es szintű kiképzések kulcskérdése az elágazás körüli formáció stabilitása. Mivel az elágazás mechanikailag nincs megerősítve, ezért inkompetens réteg esetén nagy a beomlás esélye. Ilyen esetben magasabb szintű kiképzést kell alkalmazni.

4.3.3. 3-as szintű elágazás

A 3-as szint TAML definíció szerint olyan kiképzés, amelynél a fő fúróluk bélésűcsővezeték és cementezett, a laterális szakasz pedig bélésűcsővezeték, de nem cementezett. A kiképzés fő előnye az előző szinthez képest az elágazás mechanikai megtámasztása. Ez a fajta kialakítás homok feletti ellenőrzést biztosít kötetlen rétegek esetén. Tipikus 3-as szintű kiképzés esetén a laterális szakasz kialakítása előre kimart ablakon keresztül, vagy a bélésűcső kimarásával kezdődik. A kiképző szerszám laterális szakaszba irányítása kiferdítő pálya vagy más irányzó eszköz segítségével történik, ezután réselt betétcső vagy szűrő beépítése és mechanikailag a fúrólukhoz kapcsolása következik olyan kiképző szerszámmal, ami rendelkezik kapcsoló (latch) mechanizmussal. A kiképzés fő szempontja a fő fúrólukhoz és laterális szakaszhoz való hozzáférés biztosítása a kiképzés befejezése után. A kiképzés befejeztével a lehető legtöbb helynek kell maradnia a fő fúrólukban és laterális szakaszban termelő-, újrabelépő-, kútjavító- és rudazatos mélyszivattyú felszerelés számára.

A 3-as szintű kiképzéseknek több variánsa is létezik. Az egyik széles körben alkalmazott kiképzés az ún. laterális feltoldó rendszer (Lateral Tie Back System - LTB). Ez a rendszer előre kimart ablakok használatára van tervezve, előmart ablakkal rendelkező orientált béléscső kapcsolót igényel. Az általános telepítési folyamat szerint először a fő fúrólyuk béléscsővezetése történik meg, majd ezt követi a laterális szakasz fúrása, melynek végén speciális akasztóval beakasztásra kerül a laterális szakasz betétcsőve. Ezzel a kiképzéssel lehetséges az újrabelépés a laterális szakaszba.

A Hook Hanger System egy másik széles körben elterjedt 3-as szintű kiképzés. Az akasztókampó egy előre kialakított ablakkal rendelkező betétcső. Egy, az ablak alján található kampó függeszti a rendszert a béléscső kilépő ablakának alsó részénél. A rendszer tetején található tömítő-horgonyok rögzítik a rendszert a fő fúrólyukhoz. A rendszer telepítése ablak marásával és a laterális szakasz béléscső ablaktól történő fúrásával indul. A laterális szakasz fúrása után a talpon ferde csuklóval rendelkező réselt betétcsövet helyeznek a lyukba. Miután a betétcső a kívánt mélységbe ért, béléscső öblítőfej és akasztókampó követik, mint a betétcső részei. A béléscső öblítőfej lehetővé teszi a kampó forgását a laterális szakaszban található betétcső forgatása nélkül, hogy illeszkedjen a béléscsővön található ablakhoz. A kampó béléscső aljába történő kapcsolódása után a beépítő szerszámot elengedik, leültető terhelést alkalmaznak és a tömítő horgonyok lekötik a béléscsövet, hogy a laterális elágazását a fő fúrólyukhoz rögzítsék.

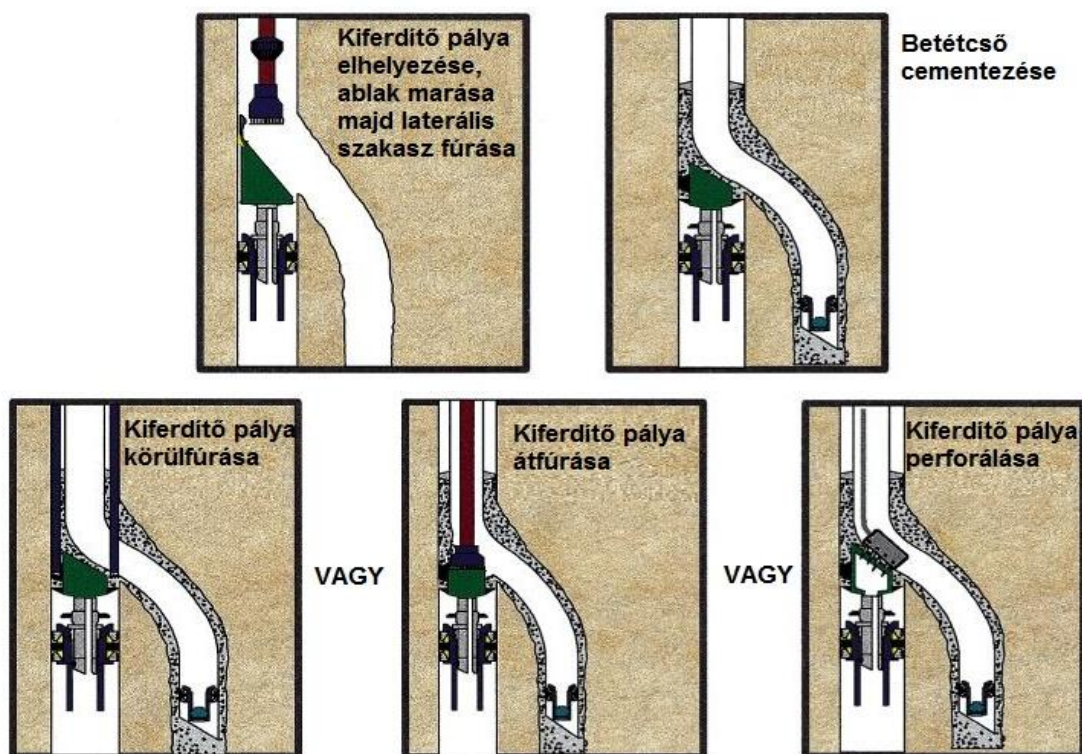
A mechanikailag kapcsolt béléscső akasztó rendszerek (Mechanically Attached Casing Hang-off System) fejlett 3-as szintű kiképzések, amelyek a feltoldó rendszereknél gyorsabb és egyszerűbb telepítést nyújtanak. Kiépíthető ferdítőt alkalmaznak egy átlagos félgömb végű betétcsőátmenet laterális lyukba irányítására hagyományos ferde csukló vagy más ferde szerszámösszeállítás helyett. Ferde csukló vagy irányfúró rudazat esetén a betétcső próbálgatással hagyja el a fő fúrólyukat ami időigényes és nehéz irányítani. A ferdítő sima átmenetet biztosít a betétcső laterális szakaszba vezetésében előzetes irányzás nélkül. A laterális szakasz fúrása után egy ferdítőt helyeznek a fúrólyuk alsó kapcsolóösszeállításába, ezzel automatikusan a laterális ablaka felé irányozva a ferdítőt. Ezek után betétcsövet helyeznek el a laterális szakasz teljes hosszában, amit egy átmeneti kapcsolószerszám követ. Ezek után a betétcső beépítő szerszámot elengedik és a ferdítő elemet kiépítik, ezzel a laterális szakasz termelésre alkalmassá válik. Ennél a kiképzésnél lehetséges az újrabelépés.

4.3.4. 4-es szintű kiképzés

Egy négyes szintű kiképzés esetén a fő fúrólyuk és a laterális szakasz is béléscsővezetett és cementezett az elágazásnál. Az előző szinthez képest a cementezésnek köszönhetően jobb mechanikai integritást, és hidraulikus izolációt biztosít. Nagyobb nyomáskülönbségnek képes ellenállni és képes a homok okozta problémák megakadályozására. A kiképzés folyamata sokkal bonyolultabb, mivel több ki- és beépítést, valamint több felszerelést igényel. Négyes szintű elágazás készíthető a béléscsővön keresztül ablak marásával, vagy előre kimart béléscső használatával. A laterális szakasz fúrása után egy betétcsövet helyeznek majd cementeznek a szakaszba. Innentől a fő fúrólyukhoz és laterális szakaszhoz való hozzáférésre két lehetőség van: a teljes méretű hozzáférés a ferdítő pálya körülfúrásával érhető el, vagy a ferdítő pályán keresztül is lehet fúrni, ami lecsökkenti a fő fúrólyukhoz való hozzáférés méretét.

Az ún. Root System egy ferdítő pályát alkalmaz az ablak kimarásához. Ezután a laterális szakasz az ablak marásával és a laterális szakasz fúrásával folytatódik, majd a betétcső cementezése következik. A cement megkötése után a laterális szakaszban perforáló, serkentő majd kiképző műveletek végrehajtása következik. A kiképzés és serkentés befejezése után körülfúró szerszámmal levágják és begyűjtik a betétcső fő fúrólyukon belüli túlnyúlását. Ezzel egy időben a ferdítópályát is begyűjtik (a körülfúró szerszám elhalad a ferdítő pálya külső része körül és rákapcsolódik az alján található kapcsolóra).

Egy egyszerűbb 4-es szintű kiképzésre ad lehetőséget üreges ferdítópálya alkalmazása hagyományos ferdítópálya helyett. A fő fúrólyuk alsó feléhez az üreges ferdítő pálya perforálásával lehet ismét hozzáférni. Nincs szükség körülfúrásra vagy marásra a laterális szakaszban, azonban megakadályozza az újrabelépést a fő fúrólyukban a ferdítópálya alatt.



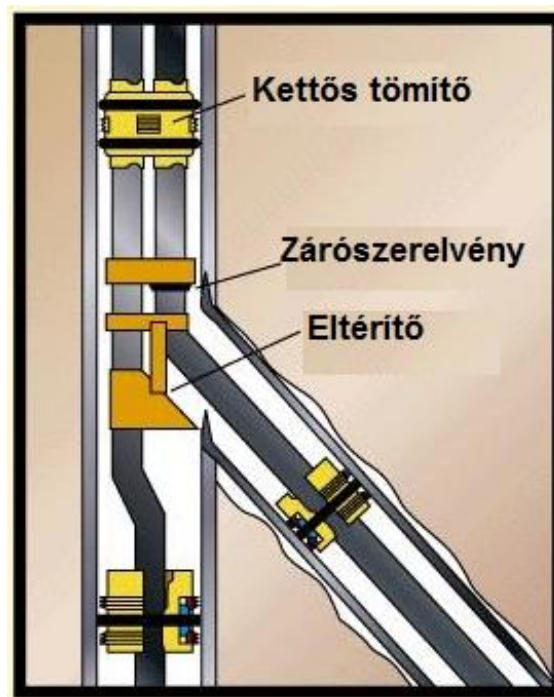
4.8. ábra: Egy 4-es szintű elágazás kiképzése
Oil and Gas Journal (1998) nyomán

4.3.5. 5-ös szintű kiképzés

Az 5-ös szintű kiképzések a 4-es szint alapján kerültek kifejlesztésre a nyomásintegritás javításával. Ennél a szintnél az elágazás teljes nyomásintegritása a fő fúrólyukba és a laterális szakaszba beépített csövek és tömítők segítségével érhető el. Egy tipikus 5-ös szintű kiképzésnél két tömítő található az elágazás helye fölött, és két további tömítő a fő fúrólyukban, valamint a laterális szakaszban az elágazás alatt. A csövek egyesíthetők egy Y-elemen keresztül a dupla tömítő fölött. Multilaterális kutak számára gyenge, lyukfal beomlására hajlamos inkompetens környezetben az 5-ös szintű kiképzések nyújtják a legjobb megoldást.

A kilépési ablak elkészítésének érdekében a ferdítő pályával együtt egy betétcső függesztő tömítő is beépítésre kerül. A laterális szakasz fúrása után a szakasz béléscsővezése és cementezése következik úgy, hogy a betétcső teteje a kimart béléscsővön keresztül belenyúl a fő fúrólyukba. Ezek után a laterális szakasz az igényeknek megfelelően perforálható, serkenthető és kiképezhető. További kiképző eszközök kerülnek beépítésre az 5-ös szintű hidraulikai integritás kialakításához. Először egy elterelő és rögzítő rendszer kerül beépítésre. A rögzítő rendszer rákapcsolódik az ablak alatti multilaterális tömítőre, majd irányzódik. Az elterelő behelyezése után a

laterális szakasz termelőcsőve áthalad az elterelőn és megakad egy, a laterális lyukba korábban telepített termelő tömítőben. Az utolsó lépés a tervezett termelés típusától függ. Ha különválasztott termelésre van szükség, akkor kettős tömítő helyezhető és rögzíthető közvetlenül az elterelő fölé. Ha a két réteg egyesítésére van szükség, akkor ún. újrabelépést irányító szerszám (Selective Re-entry Tool, SRT) helyezhető egy tömítővel együtt közvetlenül az eltérítő fölé. Az SRT legegyszerűbben egy fordított Y elemként írható le, ami mindkét réteg termelését egyesíti. Ezzel a rendszerrel az újrabelépés bármelyik lyukszakaszba lehetséges az eltérítőnek köszönhetően. Az eltérítő beépítése felcsévélő fúrócső vagy kábel segítségével is lehetséges. Az eltérítőt a felszínen be lehet állítani, hogy egy megadott termelőágat lezárjon és a felcsévélő fúrócsövet a multilaterális másik ágába irányítsa. Ha befejeződött az adott ág kezelése vagy javítása, az eltérítő eltávolítható és a kút visszaállítható egyesített termelésre.



4.9. ábra: Egy 5-ös szintű elágazás vázlata
Oil and Gas Journal (1998) nyomán

4.3.6. 6-os szintű kiképzés

Multilaterális kutak esetén a 6-os szint a legfejlettebb kiképzés. Az elágazásnál a bélés-csővezetésnek köszönhetően teljes nyomásintegritás és hidraulikus izoláció érhető el, a fő fúrólyukban és a laterális szakaszban egyaránt. A 6-os szintű kiképzéseknek két típusát különböztetjük meg: átalakítható (reformable) és nem átalakítható (non reformable). Az átalakítható elágazások esetében kisebb a furat könyöke, amit a kúttalpig

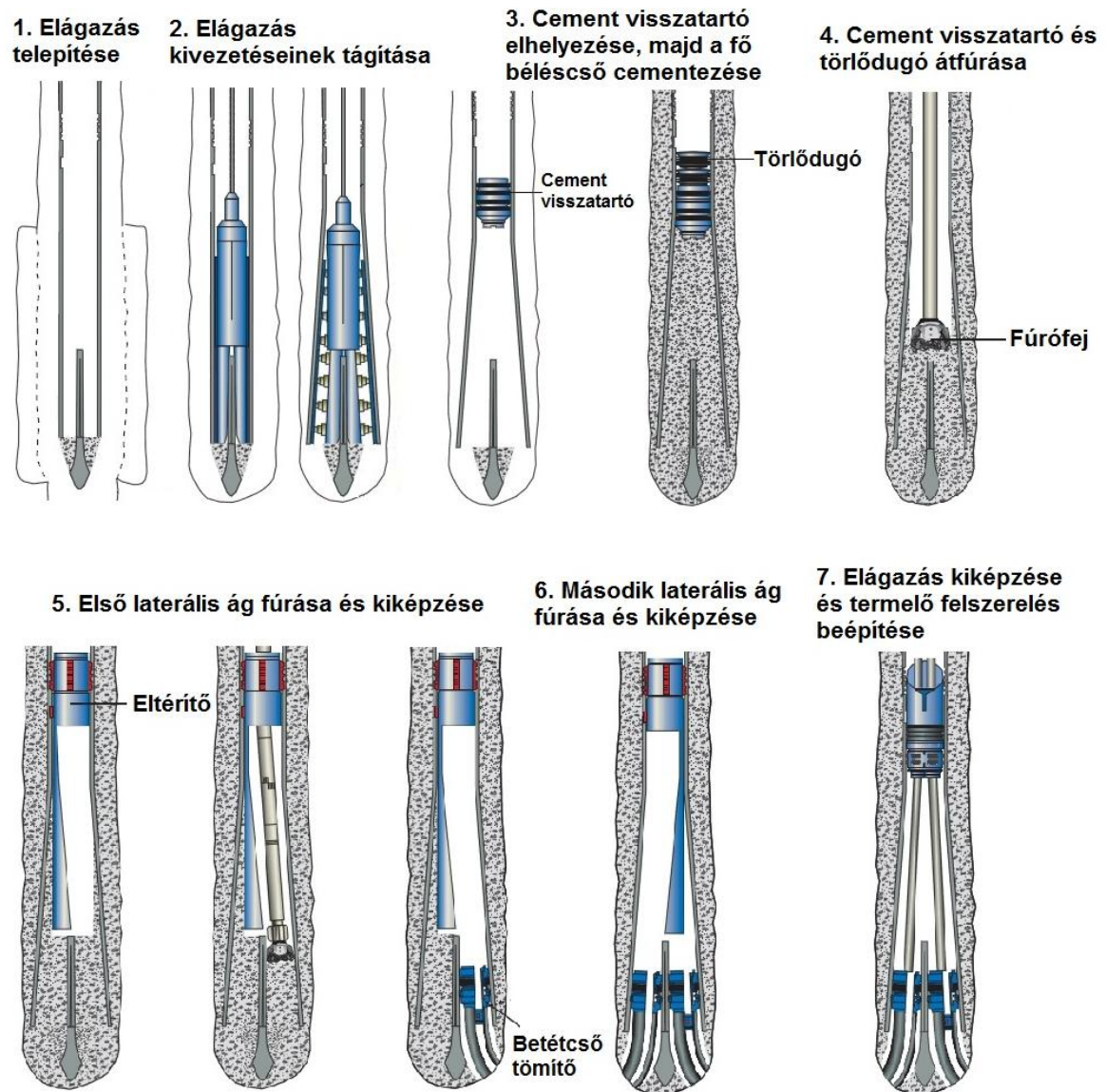
hidraulikus eszközökkel növelnek. Újabban lyuktalpi, nyomással bővítő technológia került kifejlesztésre a könyök méretének növelésére. Az átalakítható elágazások korlátozó tényezője a relatív alacsony összeroppanással szembeni szilárdságuk. A nem átalakítható 6-os szintű elágazások esetében a teljes elágazást összeállítják a felszínen. Ennek a típusnak az összeroppanással szembeni szilárdsága magas, de az elágazás méretét, és ezáltal a fő fúrólyuk alsó szakaszát és a laterális szakasz méretét is korlátozza a fő fúrólyuk béléscsővének belső átmérője, ezért ehhez a kiképzéshez nagy belső átmérőjű béléscső szükséges.

Ez a szint számos előnnyel bír a többi kiképzési szinttel szemben: egy elemet kell beépíteni, ezáltal a kiképzés folyamata egyszerűbb, valamint nem kerül marásból vagy körülfúrásból származó fémhulladék a fúrólyukba. A hidraulikus izoláció és nyomásintegritás független a cementezés minőségétől, vagy más tömítő rendszerektől. A mindkét lyukban megtalálható állandó átmérőjű betétcső növeli a fúrólyuk feletti ellenőrzés biztonságát. A kiképzés maximális rugalmasságot nyújt minimális bonyolultság és kockázat mellett. Jelenleg a 6-os szintű kiképzések fő korlátozó tényezői a nagyobb átmérőjű lyuk igénye és a magas költség.

Az elágazások építéséhez felhasznált anyag kritikus fontosságú átalakítható elágazás esetén. Nagy szilárdságúnak, falvastagságúnak és nyúlásúnak kell lennie. Az anyagnak elég erősnek kell lennie, hogy ellenálljon működés közben fellépő terheléseknek, és hajlékonynak kell lennie, hogy alkalmas legyen a deformációra és átalakító műveletekre.

Az átalakítható 6-os szintű kiképzés a formázott fém technológiáját használja fel olyan multilaterális elágazás készítésére, amelynek effektív külső átmérője beépítés közben kevesebb, mint a két elágazó laterális szakasz béléscsővének átmérője. A rendszer előre formázva átlagos béléscső vagy betétcső részeként kerül beépítésre.

Az elágazás tervezett mélységénél a nyitott lyukfalat bővítik még az elágazás beépítése előtt az elágazás átalakításához szükséges hely biztosításának érdekében. A bővített lyukszakaszon a könyököt újraformázzák. A kiképzést hagyományos fúró és kiképző módszerekkel fejezik be. A kiképzés után a rétegizoláció, valamint az újrabelépés bármelyik ágba lehetséges további lyuktalpi kiképző szerszám segítségével. A rendszer fő alkotóelemei: előre megformázott elágazás szerelvény, az újraformázáshoz előre telepített eltérítő elem (diverter), fúrási eltérítő elemek a későbbi újrabelépéshez és beépítő szerszámokhoz. Minden más cementező, fúró és kiképző eszköz hagyományos, nem multilaterális-specifikus felszerelés.



4.10. ábra: Egy 6-os szintű elágazás kiképzése
New Aspects of Multilateral Well Construction (2002) nyomán

4.1. táblázat: A különböző elágazások becsült költsége

Szint	Elágazás becsült költsége
1	< \$20000
2	\$28,000 - \$50,000
3	\$75,000 - \$200,000
4	\$80,000 - \$400,000
5	\$500,000 - \$1,300,000
6	\$160,000 - \$1,000,000

5. A PUSZTASZŐLŐSI FÖLDGÁZTELEP

5.1. Geológiai jellemzők

Felsőpannon korú rétegsorban található a Komlós szint 850-től 1270 méteres mélységig, melynek A és B sorozatában helyezkedik el 4 telep. Kőzettanilag laza homokkő építi fel aleurolit és agyagmárga betelepülésekkel. A telepek közetfizikai jellemzői jelentős eltérést nem mutatnak, valamint aktív vízutánáramlással rendelkeznek.

5.2. A telepek jellemzői

Az A-1 telep a felsőpannon rétegsor legalsó és egyben legvastagabb (50-60 m), az alja felé fokozatosan agyagosodó tagolt homokkő rétege. Azonos tároló tulajdonságú az A-2 telep, mely az A-1 telep felett elhelyezkedő 5-10 m vastagságú agyagos homokkőréteg. A B-2 telep a B homokkősorozat második tagja, jó kőzetkifejlődésű, átlagosan 15-16 m vastagságú homokkőréteg. A B-5 telep 6-12 m között változó vastagságú, helyenként két vékonyabb rétegre tagolódó agyagos homokkő rétegben helyezkedik el. A B-6 telep jó kifejlődésű, átlag 10 m vastagságú homokkőréteg, mely közvetlenül a B-5 telep fedőmárgájára települt.

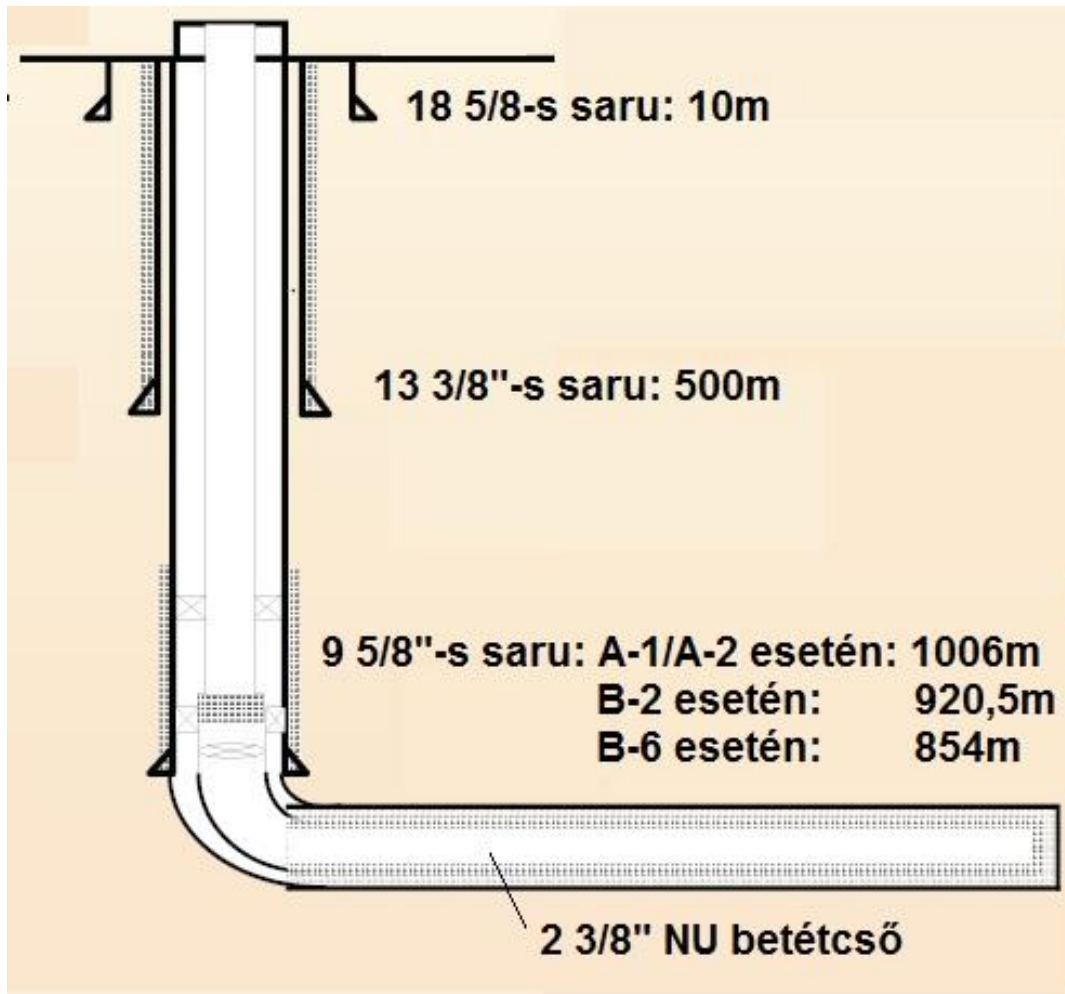
5.1. táblázat: A telepek paraméterei

Telep neve	A-1 / A-2	B-2	B-5	B-6
Szerkezet maximuma (mtsza)	1131,5 (A-1)	1060,0	1004,0	989,5
Kezdeti fázishatár (mtsza)	1157,0 (A-1)	1071,5	1014,0	1005,0
Átlagos effektív vastagság (m)	5,8	5,2	1,7	3,3
Átlagos porozitás (%)	25	27	30	28
Átlagos permeabilitás (mD)	500	600	400	500
Kezdeti rétegnyomás (bar)	124,4	116,0	113,0	110,7
Kezdeti telephőmérséklet (°C)	86,0	83,0	82,0	81,0
Kezdeti víztelítettség (%)	30	30	30	30
Depresszió (bar)	10	9	9,5	8

A következőkben összehasonlítok három, egy-egy telepből (A-1/A-2, B-2 és B-6) termelő hagyományos függőleges kutat egy három telepből (A-1/A-2, B-2 és B-6) termelő multilaterális kúttal a hozam és a kút költségének tekintetében, ezzel próbálva szemléltetni a technológiában rejlő potenciált. A számítások során törekedek a minél letisztultabb és áttekinthetőbb szemléltetésre.

5.3. A telep termelése hagyományos, horizontális kutak segítségével

A horizontális kutak az A-1/A-2, B-2 és B-6 telepekből termelnek 3 1/2"-os termelőcsővel. A felszíntől 18 5/8"-os béléscsővel kezdődik a fúrás, ezt követően 13 3/8"-os biztonsági béléscső kerül leültetésre, végül 9 5/8"-os termelő béléscső következik. A termelő béléscső belsejébe 3 1/2"-os termelő betétcső kerül beépített szűrővel és gravel pack-el. A megoldás előnye, hogy a multilaterális kiképzésekhez képest olcsó és egyszerű felépítésű, gyorsabban kivitelezhető.



5.1. ábra: A horizontális kutak szerkezete

Where simple is never simple, operators aim for simplicity in deepwater, deep-well completions (2010) nyomán

5.4. A telepek termelése multilaterális kút segítségével

A multilaterális kút fő fúrólúka függőleges, ebből különböző mélységekben ferdülnek ki a laterális szakaszok. A kút feladata az A-1/A-2, B-2 és B-6 telepek elérése a lehető legnagyobb telep-lefedettséggel. A B-5 telep átlagos effektív vastagsága túl kicsi megfelelő lefedettség eléréséhez, ezért csak három laterális szakasz ferdül a fő fúrólúkból, mindhárom ág feladata egy-egy telep lefedése. A szakaszok függőleges irányból kiindulva közepes ferdeségtel érik el a vízszintes irányt, hogy ezután 250 méteren keresztül vízszintesen haladjanak a telepekben. A laterális szakaszok azimut értéke nem változik a kiferdítés alatt.

A kilépési pontok helyét a ferdeség növelésének mértéke és a telep elérni kívánt pontja határozza meg.

$$\text{Ferdesség növelésének mértéke} = \frac{\text{ferdeség változásának mértéke}}{30 \text{ méter}} \left[\frac{^\circ}{30 \text{ méter}} \right]$$

A telepek kívánt belépési pontja mindhárom telep esetén 1 méterrel a kezdeti fázishatár alatt található, közepes típusú ferdeségtel változtatjuk a fúrási irányt függőlegesről vízszintesre, a kívánt ferdeség növekedési mérték mindhárom laterális ág esetén $18^\circ/30$ méter. Ebből következik, hogy a kiferdítési pont és a belépési pont közötti távolságok azonosak lesznek, ezért azt elegendő egyszer kiszámolni.

$$90^\circ \rightarrow x \text{ méter}$$

$$18^\circ \rightarrow 30 \text{ méter}$$

Egyszerű keresztbe szorzás után megkapjuk a keresett távolságot:

$$x = \frac{90 \times 30}{18} = 150 \text{ méter}$$

Ez alapján a kiferdítési pontok az alábbiak lesznek:

$$\text{A-1 /A-2 telep esetén: } 1156 - 150 = 1006 \text{ mtsza}$$

$$\text{B-2 telep esetén: } 1070,5 - 150 = 920,5 \text{ mtsza}$$

$$\text{B-6 telep esetén: } 1004 - 150 = 854 \text{ mtsza}$$

A függőleges fő fúróluk tervezett mélysége 1020 méter, a három laterális szakasz ferdeségnövelő szakaszának hossza egyenként 235,62 méter, a teljes laterális szakasz hossza pedig egyenként $235,62 + 250 = 485,62$ méter.

A vezető béléscsőakat 18 5/8"-os, majd ezután következik a 13 3/8"-os közbenső béléscsőakat, végül 9 5/8"-os termelőcső kerül beépítésre. A laterális szakaszok fúrása kis szelvényű fúrással készül, ezeknek az ágaknak az átmérője 4 3/4".

A béléscsősarú ültetési helyének pontos és helyes megválasztása létfontosságú a kútkiképzés során, ugyanis ha túl kis mélységben történik az ültetése akkor felesleges többletköltséggel és a kút átmérőjének indokolatlan csökkenésével jár, míg a túl nagy mélységbe tervezett sarú ültetése előtt felrepedhet a már lehelyezett sarú alatti réteg a kút nyomásviszonyai miatt (például az iszap hidrosztatikai nyomása vagy gázdugó miatt)

A béléscső típusának kiválasztása az igénybevételek nagyságától függ, méretezése szilárdsági paraméterek alapján történik. Figyelembe kell venni a béléscső elemekre ható külső nyomás, belső túlnyomás, húzás és nyomás általi igénybevételeket, valamint ezek egymásra kifejtett hatásait is. Fontos a kút élete során fellépő hatásokat is figyelembe venni, ilyen például a csövek korróziója.

Az elágazások kiképzése kétféle megoldással is megvalósítható. Az első esetben a kút függőleges szakaszának hossza a kút teljes hossza, ebből ferdülnek a megadott mélységekben a laterális szakaszok. Ilyen kialakítás esetén a multilaterális kút kiképzéséhez három elágazás kialakítására van szükség. Az elágazások szintjének megválasztása összetett folyamat, számos tényezőt kell figyelembe venni, hogy termelés indítása után ne sérüljön a kút integritása, valamint ne zavarják a termelést keresztáramlások. Fontos kérdés a különböző laterális szakaszokból érkező termelés esetleges szétválasztása. Ez magas szintű elágazással valósítható meg, de a költségek drasztikus emelkedésével jár. Mivel a rétegek feltételezett depressziója rendre 8, 9 és 10, ezért jelentős keresztáramlásra nem kell számítani, nem szükséges a termelő ágak teljes szétválasztása. A szétválasztás hiánya azonban komoly hátrány lehet, ha később a kút élete során az egyik laterális ágot víz- vagy gázbesajtolásra szeretnék felhasználni. Ennél a kiképzésnél a költséghatékonyság érdekében hármas szintű elágazás alkalmazására kerül sor mindhárom laterális szakasz esetében. Az elágazások Lateral Tie-Back, vagyis feltoldósos módszerrel kialakítottak, így lehetővé teszik a későbbi újrabelépést az egyes szakaszokba a későbbi munkálatok során.

A kút az első 10 méteres szakaszon 18 5/8" átmérőjű béléscsővezetett szakasszal indul, ezt 13 3/8"-os biztonsági béléscső követi 500 méterig, majd ebbe kerül a 9 5/8"-os termelő béléscsőakat egészen a kúttalpig. A laterális szakaszok kis szelvényű fúrás segítségével kerülnek kialakításra 4 3/4" átmérővel 250 méteres vízszintes hosszra. Ezekbe a szakaszokba 2 3/8" méretű termelő betétcső kerül a szakasz végéig. A hármas szintű elágazásnak megfelelően feltoldásos módszerrel kerülnek kialakításra, a béléscsővezetett és cementezett fő fúrólyukból induló laterális szakaszt béléscsővezetik, de nem cementezik. A laterális szakaszokba réselt betétcsöveket helyeznek, mely előre telepített szűrővel rendelkezik. A betétcső résein beszűrődő finom szemcsés homok könnyen eltömítheti a szűrőket, ami termelési problémákhoz vezethet, ezért úgynevezett gravel pack telepítése ajánlott a laterális szakasz betétcsőve köré. Ez előszűrőként megakadályozza a homokszemcsék szűrőbe jutását.

A másik lehetséges esetben a laterális szakaszok kiferdítése két elágazás segítségével történik. Az A-1/A-2 telep elérése egy hagyományos elágazással történik, a ferdítés ugyanabból a pontból indul, mint az első változatnál, a fúrólyuk a második kilépési pontig változatlan. Azonban a második laterális szakasz kilépési pontjában a kiképzés különleges 6-os szintű elágazás, úgynevezett lyuktalpi osztó (downhole splitter) segítségével történik. Ez gyakorlatilag függőleges sík mentén kettéosztja a fúrólyukat két azonos átmérőjű részre. Ennek egyik ágából ferdül a B-2 telep laterális szakasza, a másik ágon pedig függőlegesen halad tovább a fúrás a harmadik telep kilépési pontig, ahonnan a kiszámolt mértékkel ferdül vízszintesig. Mindhárom szakasz 250 métert halad vízszintesen a telepek belsejében, a laterális szakaszokba az első esethez hasonlóan szűrővel rendelkező 2 3/8" átmérőjű betétcsöveket telepítenek. Ebben az esetben is ajánlott „gravel pack” telepítésével.

Az A-1/A-2 telep laterális szakasza az első változathoz hasonlóan külön elágazással csatlakozik a fő fúrólyukhoz, a szint kiválasztásánál a fő szempont az újrabelépés lehetősége és a termelés elkülöníthetősége az első változatnál vázolt okok miatt. A két alsó ág elkülönítése miatt érdemes a harmadik ágot is elkülöníteni, a magasabb szintű kiképzéssel járó többletköltségeket ellensúlyozza az, hogy ennél a megoldásnál csak két elágazást kell kiképezni. Ebben az esetben az újrabelépés igénye dönt. Mivel a kutat hosszú életciklusra tervezzük, ezért célszerű lehetővé tenni a későbbi újrabelépést és ennek érdekében hatos szintű elágazást telepíteni. Ebben az esetben az elágazás nem lyuktalpi osztó, hanem hagyományos hatos szintű elágazás, mely biztosítja az elágazás integritását, az áramlások ellenőrzését és a későbbi újrabelépés lehetőségét. A két elágazásból származó 2 3/8"-os termelőcsövek párhuzamosan futnak a termelő béléscső

belsejében a felszínig. Segítségükkel megoldható az újrabelépés bármelyik laterális szakaszba, vagy a kút élete során bármelyik ág alkalmazható víz- vagy gázbesajtolásra.

A második megoldás minimális többletköltség árán nyújt teljes rétegizolációt, nyomások feletti ellenőrzést valamint korlátlan újrabelépési lehetőséget, ezért a bonyolultabb elágazások ellenére ez a megfelelő kútszerkezet a telepek termelésére.

Ez a kivitelezés megváltoztatja az eredeti kúttervet, ugyanis ebben az esetben a hagyományos módon fúrt függőleges szakasz csak a második laterális szakasz kilépési pontjának mélységéig tart. Így a függőleges fő fúrólyuk tervezett mélysége 940 méter, a három laterális szakasz ferdeségnövelő szakaszának hossza, valamint a horizontális szakaszok hossza változatlan marad.

A fúrás központi eleme a lyuktalpi szerszámösszeállítás. A függőleges szakasz lyuktalpi szerszámösszeállítása a talptól fölfelé a következő:

fúrófej → központosító → 5db súlyosbító → központosító → 5db súlyosbító → 2 rakat (6db) vastag falú fúrócső → fúrócső

A függőleges szakasz fúrása során a súlyosbítók száma a béléscsővezetés utáni átmérőcsökkenéssel együtt csökken.

A súlyosbítók megfelelő mennyiségéhez az úgynevezett hüvelykszabályt alkalmazzuk, vagyis a fúró átmérőjének minden hüvelykjére legalább 1 tonna terhelésnek kell jutnia.

Közepes ferdeségnövelő szakasz estén RSS (Rotary Steerable System) nem alkalmazható, ezért erre a szakaszra külön lyuktalpi szerszámösszeállítás szükséges. A ferdítéshez szükséges terhelést a vastag falú fúrócsövek biztosítják, ezért annyit kell alkalmazni, hogy a ferdeségnövelő szakasz elejétől a végéig érjenek, majd további terhelés biztosítása érdekében a függőleges szakaszban további súlyosbítók használata szükséges. A ferdeségnövelő szakasz hossza 235,62 méter, ezért 24 darab vastag falú fúrócső szükséges a megfelelő fúróterhelés biztosításához. Mivel a cső könnyen érintkezhet a lyukfallal, az esetleges megszorulások elkerülésének érdekében spirálhuzagolt vastag falú fúrócső alkalmazása célszerű:

fúrófej → iszapmotor → kiferdítő csukló → központosító → 8 rakat (24db) spirálhuzagolt vastag falú fúrócső → 6db súlyosbító → 1 rakat (3db) vastag falú fúrócső → fúrócső

A laterális szakaszban a gravitációs erő a lyukfalhoz kényszeríti a fúrószárat, így nehezebb megfelelő fúróterhelést alkalmazni. Az esetleges megszorulások elkerülésére célszerű spirálhuzagolt vastag falú fúrócsövet alkalmazni. A megfelelő fúróterhelés eléréséhez ügyelni kell, hogy a vastag falú fúrócsövek a kívánt hossz elérésekor is a kilépési pontig tartsanak. A teljes laterális és ferdeségnövelő szakasz együttes hossza 485,62 méter és egy csőszakasz hossza 10 méter, ezért legalább 49 darabra van szükség a megfelelő fúróterhelés biztosításához. A ferdeségnövelő szakaszban alkalmazott szerszámösszeállításhoz hasonlóan a horizontális szakaszban is érdemes spirálhuzagolt vastag falú fúrócsöveket alkalmazni. A laterális szakaszok horizontális szakaszain a lyuktalpi szerszámösszeállítás:

fúrófej → RSS (Rotary Steerable System) → 49db spirálhuzagolt vastag falú fúrócső → 6db súlyosbító → 1 rakat (3db) vastag falú fúrócső → fúrócső

A lyuktalpi szerszámösszeállítás megtevezésekor figyelembe kell venni, hogy a súlyosbító keresztmetszetének és a vastag falú fúrócső keresztmetszetének hányadosa 5,5-nél kisebb kell hogy legyen a kifáradásos törések elkerülésének érdekében.

A laterális szakaszok fúrása kivitelezhető felcsévélts csővű fúrással is, ez esetben más lyuktalpi szerszámösszeállítás szükséges.

A fúrás során a lyuk méretének csökkenésével együtt csökken az alkalmazott fúrófejek mérete is. A fúrófejek mérete a 18 5/8" méretű bélésű cső esetén 17 1/2", a 13 5/8" méretű közbenső bélésű cső esetén 12 1/4" és a laterális ágak fúrásakor 4 3/4".

A megfelelő típusú fúrófej kiválasztása a kőzet típusától, a fúrási folyadék paramétereitől és a kút profiljától függ.

6. A KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSÚ KUTAK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

6.1. A kutak hozamai

A kutak hozamának vizsgálatához szükséges az eltérési tényező. Mivel ez az adott telep viszonyaitól függ, ezért minden telep esetében külön ki kell számolni.

A telepekből termelt gáz 97%-a metán, az eltérési tényező számításánál 95% feletti metántartalom esetén a többi alkotó jelentősége elhanyagolható, ezért a számítások során 100%-os metántartalmat feltételezek.

6.1.1. A telepeken található gázok eltérési tényezői

A hozamok kiszámításához szükségünk van a telepeken található gázok eltérési tényezőire, ezeket azonban mindhárom termelt telepre külön ki kell számolni. A metán és a levegő móltömegeiből könnyen számítható a metán relatív sűrűsége:

$$\rho_{gr} = \frac{M_g}{M_a}$$

ahol M_g : gáz moláris tömege [kg/kmol]

M_a : levegő moláris tömege [kg/kmol]

A gáz relatív sűrűségéből a gáz pszeudokritikus értékei becsülhetők Brown és társai tapasztalati összefüggéseiből:

$$T_{pc}[K] = 96,03 + 172,7 \times \rho_{gr}$$

$$P_{pc}[bar] = 47,533 - 1,172 \times \rho_{gr} - 1,379 \times \rho_{gr}^2$$

ahol T_{pc} : pszeudokritikus hőmérséklet

P_{pc} : pszeudokritikus nyomás

Ha az aktuális nyomást és hőmérsékletet elosztjuk a pszeudokritikus értékekkel akkor megkapjuk a pszeudoredukált nyomás és hőmérséklet értékeit:

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}}$$

$$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}}$$

ahol T_{pr} : pszeudoredukált hőmérséklet

P_{pr} : pszeudoredukált nyomás

Ezek után Pápay képlete alapján számítható az eltérési tényező:

$$Z = 1 - \frac{3,52 \times P_{pr}}{10^{0,9813 \times T_{pr}}} + \frac{0,274 \times P_{pr}^2}{10^{0,8157 \times T_{pr}}}$$

ahol Z : eltérési tényező

6.1.1.1. Az A-1/A-2 telep eltérési tényezője

$$M_g = 16,042 \text{ g/mol} \quad M_a = 28,966 \text{ g/mol} \quad T = 86 \text{ }^\circ\text{C} \quad P = 124,4 \text{ bar}$$

ahol T : kezdeti telephőmérséklet

P : kezdeti rétegnyomás

$$\rho_{gr} = \frac{M_g}{M_a} = \frac{16,042}{28,966} = 0,553821722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{pc} = 96,03 + 172,7 \times \rho_{gr} = 191,6750114 \text{ K}$$

$$P_{pc} = 47,533 - 1,172 \times \rho_{gr} - 1,379 \times \rho_{gr}^2 = 46,46095613 \text{ bar}$$

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} = \frac{86 + 273,15}{191,6750114} = 1,873744508$$

$$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} = \frac{124,4}{46,46095613} = 2,677517003$$

$$Z = 1 - \frac{3,52 \times P_{pr}}{10^{0,9813 \times T_{pr}}} + \frac{0,274 \times P_{pr}^2}{10^{0,8157 \times T_{pr}}} = 0,9215463958$$

6.1.1.2. B-2 telep eltérési tényezője

$$M_g = 16,042 \text{ g/mol} \quad M_a = 28,966 \text{ g/mol} \quad T = 83 \text{ }^\circ\text{C} \quad P = 116 \text{ bar}$$

$$\rho_{gr} = \frac{M_g}{M_a} = \frac{16,042}{28,966} = 0,553821722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{pc} = 96,03 + 172,7 \times \rho_{gr} = 191,6750114 \text{ K}$$

$$P_{pc} = 47,533 - 1,172 \times \rho_{gr} - 1,379 \times \rho_{gr}^2 = 46,46095613 \text{ bar}$$

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} = \frac{83 + 273,15}{191,6750114} = 1,858093016$$

$$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} = \frac{116}{46,46095613} = 2,496720035$$

$$Z = 1 - \frac{3,52 \times P_{pr}}{10^{0,9813 \times T_{pr}}} + \frac{0,274 \times P_{pr}^2}{10^{0,8157 \times T_{pr}}} = 0,9201031881$$

6.1.1.3. B-6 telep eltérési tényezője

$$M_g = 16,042 \text{ g/mol} \quad M_a = 28,966 \text{ g/mol} \quad T = 83 \text{ }^\circ\text{C} \quad P = 116 \text{ bar}$$

$$\rho_{gr} = \frac{M_g}{M_a} = \frac{16,042}{28,966} = 0,553821722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{pc} = 96,03 + 172,7 \times \rho_{gr} = 191,6750114 \text{ K}$$

$$P_{pc} = 47,533 - 1,172 \times \rho_{gr} - 1,379 \times \rho_{gr}^2 = 46,46095613 \text{ bar}$$

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} = \frac{81 + 273,15}{191,6750114} = 1,847658688$$

$$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} = \frac{110,7}{46,46095613} = 2,382645757$$

$$Z = 1 - \frac{3,52 \times P_{pr}}{10^{0,9813 \times T_{pr}}} + \frac{0,274 \times P_{pr}^2}{10^{0,8157 \times T_{pr}}} = 0,919415854$$

6.1.2. A kutak hozamegyenletei

Egyfázisú gázáramlás esetén figyelembe kell vennünk a gáz fizikai paramétereinek nagymértékű hőmérséklet és nyomásfüggését, valamint a már kis hozamnál is nagy áramlási sebesség miatti turbolenciát. Kamkon és Zhu (2006) egyenlete vízszintes szakasz hozamára:

$$q = \frac{kL(P_e^2 - P_{wf}^2)}{1,424\bar{Z}\mu_g T \left(\ln \left[\frac{hI_{ani}}{r_w(I_{ani} + 1)} \right] + \frac{\pi y_b}{hI_{ani}} - 1,224 + s \right)} \quad (6.1)$$

ahol k : réteg permeabilitása [m^2]

L : vízszintes szakasz hossza [m]

P_e : nyomás a gyűjtőterület határán [Pa]

P_{wf} : áramlási kúttalpnymás

h : effektív rétegvastagság [m]

$P^2 - P_{wf}^2$: nyomásnégyzetek különbsége [Pa]

T : tároló hőmérséklete

μ_g : gáz viszkozitása [$Pa \cdot s$]

Z : eltérési tényező

r_e : kúthoz tartozó gyűjtőterület sugara [m]

r_w : kút sugara

s : szkín-tényező

y_b : telep szélének távolsága

I_{ani} : vízszintes és függőleges permeabilitás hányadosának a négyzetgyöke

Az A-1/A-2 telepből termelő vízszintes kút paraméterei:

$\mu_g = 1,378013474 \times 10^{-5} \text{ Pas}$	$\rho_g = 0,676259541 \text{ kg/m}^3$	$k = 500 \text{ mD}$
$L = 250\text{m}$	$T = 86^\circ\text{C}$	$Z = 0,9215463958$
$r_e: 250\text{m}$	$r_w: 0,06325\text{m}$	$s = 5$
$y_b: 250\text{m}$	$I_{ani} = \sqrt{5}$	$P_e = 124,4 \text{ bar}$
$P_{wf} = 10 \text{ bar}$	$h = 5,8\text{m}$	

A kút hozama (6.1) alapján: $q = 191,2668307 \text{ m}^3/\text{s}$

A B-2 telepből termelő vízszintes kút paraméterei:

$\mu_g = 1,366550095 \times 10^{-5} \text{ Pas}$	$\rho_g = 0,683025624 \text{ kg/m}^3$	$k = 600 \text{ mD}$
$L = 250\text{m}$	$T = 83^\circ\text{C}$	$Z = 0,9201031881$
$r_e: 250\text{m}$	$r_w: 0,06325\text{m}$	$s = 5$
$y_b: 250\text{m}$	$I_{ani} = \sqrt{5}$	$P_e = 116 \text{ bar}$
$P_{wf} = 9 \text{ bar}$		

A kút hozama (6.1) alapján: $q = 189,0564376 \text{ m}^3/\text{s}$

A B-6 telepből termelő vízszintes kút paraméterei:

$\mu_g = 1,359278715 \times 10^{-5} \text{ Pas}$	$\rho_g = 0,6559894954 \text{ kg/m}^3$	$k = 500 \text{ mD}$
$L = 250\text{m}$	$T = 81^\circ\text{C}$	$Z = 0,919415854$
$r_e: 250\text{m}$	$r_w: 0,06325\text{m}$	$s = 5$
$y_b: 250\text{m}$	$I_{ani} = \sqrt{5}$	$P_e = 110,7 \text{ bar}$
$P_{wf} = 8 \text{ bar}$		

A kút hozama (6.1) alapján: $q = 157,8338544 \text{ m}^3/\text{s}$

A három rétegből egyszerre termelő multilaterális kút hozama:

A multilaterális kút ágainak hozamegyenletei megegyeznek a vízszintes kutak hozamegyenleteivel, de mivel egyszerre termel mindhárom rétegből, ezért a hozamát a három ág hozamának összege adja:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = 191,2668307 + 189,0564376 + 157,8338544 = \underline{538,1571227} \text{ m}^3/\text{s}$$

Jól látszik a multilaterális kút előnye, ugyanis egyetlen fő fúrólukból kiindulva képes ugyanazt a hozamot biztosítani, ami egyébként csak három különálló kút segítségével valósítható meg.

6.2. A kutak költségei

A multilaterális kút függőleges szakaszának kialakítása hagyományos eszközökkel és módszerekkel történik, ezért a függőleges szakasz költsége azonos a hagyományos kutakéval, hozzávetőleg 350 millió forint. A laterális szakaszok kialakításának költsége a ferdeségnövelő szakasz és horizontális szakasz kialakítását is magában foglalja, méterenkénti költsége magasabb a függőleges szakaszénál, mivel a kialakítás bonyolultabb és külön eszközöket is igényel. Ez az összeg körülbelül 150 millió forint. Így a három laterális szakasz többletköltsége $3 \times 150 = 450$ millió forint. A multilaterális kút névjegyének számító elágazások kialakítása komplikált, sok eszközt és időt igényel. A kút kiképzésekor magas szintű elágazások kerülnek telepítésre, a két hatos szintű elágazás költsége együttesen eléri a 160 millió forintot. A multilaterális kút teljes költsége: $350 + 450 + 160 = 960$ millió forint.

A hagyományos vízszintes kút költsége szintén két részből áll, a függőleges- és vízszintes szakasz kiképzési költsége más. A ferdeség növelő szakasz költségeit magában foglalja a vízszintes szakasz ára. A függőleges szakasz ára hozzávetőleg 350 millió forint, a vízszintes szakasz körülbelül 85 millió forinttal emeli a költségeket. Így egy vízszintes kút teljes költsége mintegy 435 millió forint. A multilaterális kút hozamának eléréséhez három kútra van szükség. Mivel ezek rendkívül kis mértékben térnek el egymástól, ezért a költségeik közötti különbségektől eltekintek. A három vízszintes kút teljes költsége: $3 \times 435 = 1305$, vagyis a három kút több mint 1,3 milliárd forintba kerül.

Jól látszik, hogy azonos hozam elérése különálló kutak segítségével közel másfélszeres költségek árán valósítható meg. Tovább növelné a különbséget, ha a fúrési pontok előkészítésének költségeit is beleszámolnánk a kutak áraiba. Mivel a multilaterális kutak esetében a fúrás végig ugyanarról a pontról történik, ezért csak egy fúrési pontot kell előkészíteni. Mivel napjainkban a környezetvédelem és tulajdoni szemlélet egyre jobban erősödik, ezért nagyfokú megtakarítás érhető el az előkészítendő fúrési pontok számának csökkentésével. Jelen esetben vízszintes kutak esetén három pont előkészítésére van szükség, a megtakarítás már ilyen esetben is tízmilliós nagyságrendű. Ha egyetlen berendezéssel tervezzük mindhárom vízszintes kút fúrását, akkor szintén jelentős kiadást jelent a berendezés költöztetése is a fúrési pontok között.

7. KONKLÚZIÓ

A bonyolultabb kiképzés ellenére a multilaterális kutak remek alternatívái a hagyományos vízszintes kutaknak, azonos költség mellett nagyobb hozamot biztosítanak, vagy ugyanakkora hozamot sokkal költséghatékonyabban érnek el egymáshoz viszonylag közel lévő telepekből. A többletköltség a multilaterális kutak terjedésének gyorsulásával csökkenni fog, és bár soha nem lesz annyira elterjedt, mint a vízszintes fúrási technikák, az ipar egyik dinamikusan fejlődő és folyamatosan egyre nagyobb tért hódító ágazata lesz. A térhódítás a költséghatékonyság növekedésének és az ilyen kutakat igénylő telepek és formációk magas számának lesz köszönhető. Mivel egyetlen pontból nyílik lehetőség számos telep termelésére, ezért ez a fajta fúrási technika főleg az offshore szénhidrogén kutak esetében hasznos, ugyanis nem kell minden egyes kút fúrásához új fúrási pontot kijelölni és áttelepíteni a platformot. A módszer térhódítását és folyamatos fejlődését igazolja, hogy számos cég fejleszt és kínál eszközöket multilaterális kutak fúrásához és kiképzéséhez, a technológiában rejlő lehetőségek kiaknázásához.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Adam T. Bourgoyne Jr., Keith K. Millheim, Martin E. Chenever és F.S. Young Jr (1986): Applied Drilling Engineering, SPE Textbook
2. Dr. Bódi T. (2006): PVT számítások
3. Dr. Bódi T. (2005): Hidrodinamikai kútvizsgálatok alapjai
4. Hill A. D. és Zhu D., Economides M. J. (2008): Multilateral Wells, SPE Books
5. Jerry G.: Where simple is never simple, operators aim for simplicity in deepwater, deep-well completions (<http://www.drillingcontractor.org/where-simple-is-never-simple-operators-aim-for-simplicity-in-deepwater-deep-well-completions-7488>) letöltés időpontja: 2011.11.02
6. José F., Hervé O., Tom P., Mike J., Mirush K., Ramiro P., Gabriel P. G. S. és Kenneth U. (2002): New Aspects of Multilateral Well Construction. Oilfield Review. 14, 55.
7. Oil & Gas Journal 12-7-98
8. Oil & Gas Journal, December 7, 1998.
9. PUSZTASZŐLŐSI FGT művelési bemutatása, MOL Előadás, 2005. szeptember
10. Rabia H. (2002): Well Engineering & Construction
11. Steve B., Hussein S., Gamal I., Hervé O., Mark S., Chris W. és Albertus R. (1998): Variations in Multilateral Well design and execution. Oilfield Review, 1998, 14-29.
12. World Oil Online Vol. 231 No. 6: Fayetteville Shale wells benefit from cementless lateral technique (<http://208.88.130.69/Fayetteville-Shale-wells-benefit-from-cementless-lateral-technique.html>) Letöltés időpontja: 2011.10.17