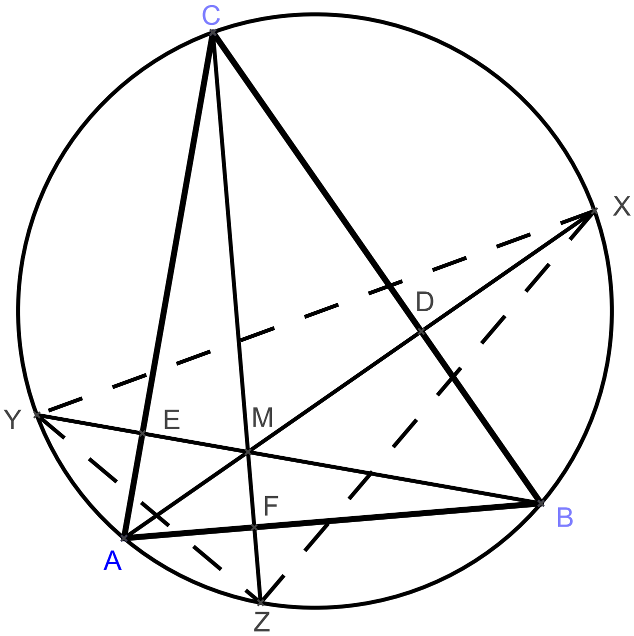
4. feladat: Az ABC háromszög szögei $CAB\angle = 75°$ és $ABC\angle = 60°$. Legyenek az ABC háromszög magasságpontjának a BC, CA és AB oldalakra vonatkozó tükörképei rendre az X, Y és Z pontok. Közelítő értékek használata nélkül határozza meg az XYZ és ABC háromszögek területének arányát!

I. Megoldás: A háromszög mindhárom szöge hegyesszög, a magasságpont tehát a háromszög belső pontja. Legyenek a háromszög magasságvonalainak a BC, CA és AB oldalakkal való metszéspontjai rendre D, E és F.



Az $AFME$ négyszög két szemben fekvő szöge derékszög, ezért a négyszög húrnégyszög, innen azt kapjuk, hogy $EMF\angle = CMB\angle = 105°$. Az X pont az M magasságpontnak a BC oldalra vonatkozó tükörképe, ezért $CXB\angle = 105°$. Látható, hogy $CAB\angle + BXC\angle = 180°$. A $BACX$ négyszög húrnégyszög, az X pont az ABC háromszög körülírt körén fekvő pont. Hasonlóképpen láthatjuk be, hogy Y és Z is a körülírt körön levő pontok. (1 pont)

Az ABE és ACF derékszögű háromszögekben $ABE\angle = ACF\angle = 15°$, ebből a tükrözés tulajdonsága miatt $ABZ\angle = ACY\angle = 15°$ következik. (1 pont)

A kerületi szögek tétele szerint$YCZ\angle = YXZ\angle$, így beláttuk, hogy $YXZ\angle = 30°$. (1 pont)

Hasonlóan kapjuk, hogy $FCB\angle = MCD\angle = 30°$, és így a tükrözés miatt $MCX\angle = ZCX\angle = 60°$, innen pedig a kerületi szögek tétele miatt $XYZ\angle = 60°$. Eszerint az XYZ háromszög harmadik szöge derékszög, az XYZ háromszög félszabályos. (1 pont)

AZ ABC és XYZ háromszögek körülírt köre közös, legyen ennek a sugara R. A továbbiakban felhasználjuk a szögekre vonatkozó eredményeinket. Az általános szinusztétel szerint

$$ZX = 2Rsin60° = R\sqrt{3}, \text{ és } YZ = 2Rsin30° = R.$$

Az XYZ háromszög derékszögű, ezért területe

$$T_1 = \frac{XZ \cdot YZ}{2} = \frac{R^2\sqrt{3}}{2}. \qquad \text{(2 pont)}$$

Felhasználva a két szög összegének szinuszára vonatkozó addíciós tételt:

$$sin75° = sin(45° + 30°) = sin45°cos30° + cos45°sin30° = \frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4}.$$

Ugyancsak az általános szinusztétel szerint

$$AB = 2Rsin45^\circ = R\sqrt{2}, \text{ és } BC = 2Rsin75^\circ = R\frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{2}. \qquad \text{(1 pont)}$$

Az ABC háromszög T területére az eddigiek alapján:

$$T = \frac{AB \cdot BC \cdot sin60^\circ}{2} = \frac{R^2\sqrt{6}(\sqrt{6}+\sqrt{2})}{8} = \frac{R^2\sqrt{3}(\sqrt{3}+1)}{4}. \qquad \text{(2 pont)}$$

A két terület aránya

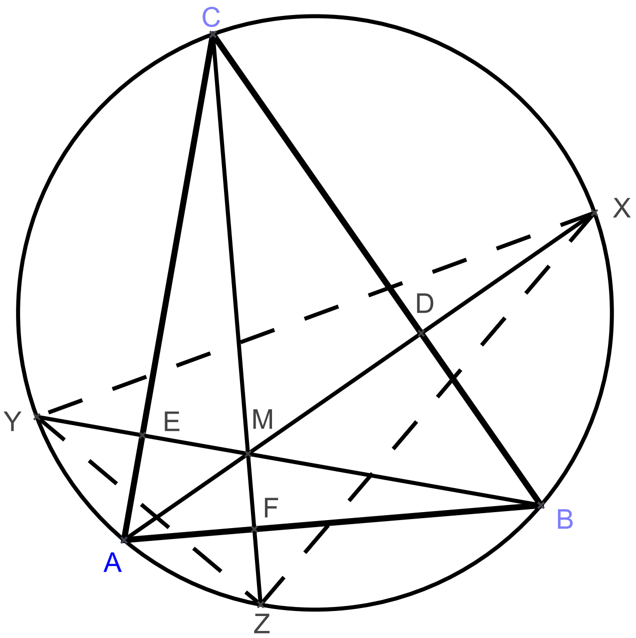
$$\frac{T_1}{T} = \frac{\frac{R^2\sqrt{3}}{2}}{\frac{R^2\sqrt{3}(\sqrt{3}+1)}{4}} = \frac{2}{\sqrt{3}+1} = \sqrt{3}-1. \qquad \text{(1 pont)}$$

Összesen: 10 pont

Megjegyzések:

1. Az első pontot akkor is megkapja a versenyző, ha nem bizonyítja be, hogy a háromszög magasságpontjának az oldalakra vonatkozó tükörképei a körülírt körön vannak, de helyesen hivatkozik a tételre.
2. A második pontot akkor is megkapja a versenyző, ha előbb bizonyítja, hogy $ABZ\angle = 15^\circ$, majd hivatkozik a kerületi szögek tételére

II. Megoldás: A háromszög mindhárom szöge hegyesszög, a magasságpont tehát a háromszög belső pontja. Legyenek a háromszög magasságvonalainak a BC, CA és AB oldalakkal való metszéspontjai rendre D, E és F.



Az $AFME$ négyszög két szemben fekvő szöge derékszög, ezért a négyszög húrnégyszög, innen azt kapjuk, hogy $EMF\angle = CMB\angle = 105°$. Az X pont az M magasságpontnak a BC oldalra vonatkozó tükörképe, ezért $CXB\angle = 105°$. Látható, hogy $CAB\angle + BXC\angle = 180°$. A $BACX$ négyszög húrnégyszög, az X pont az ABC háromszög körülírt körén fekvő pont. Hasonlóképpen láthatjuk be, hogy Y és Z is a körülírt körön levő pontok. (1 pont)
AzABE és ACF derékszögű háromszögekben $ABE\angle = ACF\angle = 15°$, ebből a tükrözés tulajdonsága miatt $ABZ\angle = ACY\angle = 15°$ következik. (1 pont)
A kerületi szögek tétele szerint$YCZ\angle = YXZ\angle$, így beláttuk, hogy $YXZ\angle = 30°$. (1 pont)
Hasonlóan kapjuk, hogy $FCB\angle = MCD\angle = 30°$, és így a tükrözés miatt $MCX\angle = ZCX\angle = 60°$, innen pedig a kerületi szögek tétele miatt $XYZ\angle = 60°$. Eszerint az XYZ háromszög harmadik szöge derékszög, az XYZ háromszög félszabályos. (1 pont)
A terület kiszámításához használjuk fel a következő összefüggéseket:

$$T_{ABC} = \frac{AB \cdot BC \cdot CA}{4R}$$

$$AB = 2Rsin45°; \qquad BC = 2Rsin75°; \qquad CA = 2Rsin60°$$

és

$$T_{XYZ} = \frac{XY \cdot YZ \cdot ZX}{4R}$$

$$XY = 2Rsin90°; \qquad YZ = 2Rsin30°; \qquad ZX = 2Rsin60°$$ (2 pont)

rendezés után

$$T_{ABC} = \frac{AB \cdot BC \cdot CA}{4R} = 2R^2 \cdot sin45° \cdot sin60° \cdot sin75°$$

$$T_{XYZ} = \frac{XY \cdot YZ \cdot ZX}{4R} = 2R^2 \cdot sin90° \cdot sin60° \cdot sin30°\,,$$ (2 pont)

valamint

$$sin75^\circ = sin(45^\circ + 30^\circ) = sin45^\circ cos30^\circ + cos45^\circ sin30^\circ = \frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4}. \qquad \text{(1 pont)}$$

A két terület aránya

$$\frac{T_{XYZ}}{T_{ABC}} = \frac{2R^2 \cdot sin90^\circ \cdot sin60^\circ \cdot sin30^\circ}{2R^2 \cdot sin45^\circ \cdot sin60^\circ \cdot sin75^\circ} = \frac{1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4}} =$$

$$= \frac{4}{\sqrt{2} \cdot \left(\sqrt{6}+\sqrt{2}\right)} = \frac{2}{\sqrt{3}+1} = \sqrt{3} - 1 \qquad \text{(1 pont)}$$

Összesen: 10 pont