



The Israel Adult Fans of...

המתמטיקה מאחורי טכניקות הבנייה של לגו – חלק ג'

מבוא

ב-1 באוגוסט 2023 LEGO הוציאה סט חדש (76262) שיוצר העתק מדויק למדי של מגן קפטן אמריקה מסרטיי. (MCU (Marvel Cinematic Universe)



התגובות הראשוניות לסט הזה היו פחות חיוביות, כאשר חלק מהאנשים השוו אותו בצורה לא חיובית לגרסה המותאמת אישית הגדולה (והיקרה יותר) הנמכרת על ידי [Bricker Builds](#).



הגרסה המסוימת הזו בנויה כפסל שנוצר על ידי ערימת צלחות רגילות, מה שהופך אותה ליציבה הרבה יותר. הסט הרשמי לעומת זאת קטן יותר ונראה דק יותר. אבל ישנן סיבות רבות להעריך את הסט החדש, לא מעט מהן היא הדרך החכמה שבה הוא משתמש בפלטות טריז כדי ליצור את הצורה העגולה. זהו הסט השני האחרון) אחרי סט 21332 של Ideas Globe שיצא ב-1 בפברואר 2022 (שיוצר צורה עגולה על ידי הצמדת לוחות טריז בזוויות שונות על גבי מסגרת פנימית.





The Israel Adult Fans of...



אכן יש כמה פערים ברורים בין לוחות הטרז, אבל יחד הלוחות האלה עדיין עושים עבודה מצוינת בקירוב הצורה המעוקלת. למרות שזוהי טכניקה חדשה יחסית בכל הנוגע למערכות LEGO הרשמיות AFOLs, משתמשים בה כבר די הרבה זמן. סט הגלוב כידוע, הוא סט רעיונות שמבוסס על עיצוב של AFOL הצרפתי גיום רוסל AFOL (@disneybrick) אחר פיט סטרגה (@redcokid) שהוא אמן בטכניקה זו, השתמש בה כדי ליצור מערך מרשים של MOCs (בניינים שונים עם כיפות בצורת עגול, בלון אוויר חם ואפילו חזיר מעופף!).



©PETE STREGE

ברור שיש כאן מתמטיקה מעניינת. אני קצת טירון עם הטכניקה הזו בעצמי, אבל לא יכולתי לעמוד בפני האתגר של לנסות לבצע הנדסה לאחור של שני הסטים הרשמיים (הגלובוס והמגן של קפטן אמריקה) כדי לנסות לחשוף חלק מהמתמטיקה הזו. וכך, בפרק השלישי של הסדרה שלי על 'המתמטיקה מאחורי טכניקות' LEGO שני הפרקים הקודמים כאן וכאן, (נתעמק במתמטיקה שמאחורי הגלובוס והמגן של קפטן





The Israel Adult Fans of...

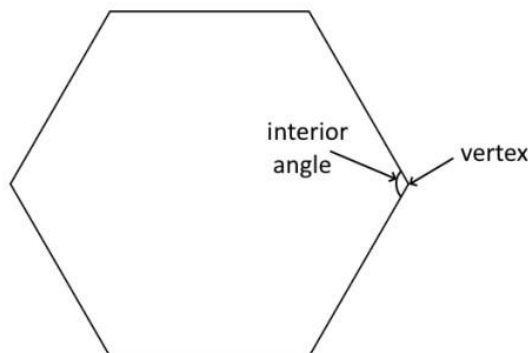
אמריקה. ננסה להבין קונספטואלית כיצד הצורות החיצוניות של הגלובוס והמגן מחוברות יחד (לאו דווקא לפי ההוראות לסטים בפועל). לסטים הללו יש גם לא מעט חיזוקים פנימיים שנוצרו באמצעות אלמנטים של Technic, ולא ניכנס לכל הפרטים על כך עבור מאמר זה.

לפני שנתחיל לצלול פנימה, עלינו להוציא מהדרך כמה תנאים מוקדמים - כלומר גיאומטריית מצולע, סקירה כללית של החלקים הטכניים המשמשים ליצירת המסגרת הפנימית בסט גלובוס וכמובן לוחות הטריז המשמשים בשילוב עם צלחות רגילות ליצירת ה"עור" החיצוני בשני הסטים.

גיאומטריית מצולע

בפוסט קודם זה ראינו כיצד ניתן להשתמש בלוחות צירים של LEGO ליצירת קירות זוויתיים. אם נרחיב את המושג הזה עוד יותר, אנחנו אמורים להיות מסוגלים גם לבנות שרשרת רציפה של מקטעי קיר זוויתיים היוצרים צורה סגורה - כלומר מצולע. אם מגבילים את הדיון שלנו למצולעים רגילים (מצולעים שבהם כל הצלעות והזוויות שוות), כיצד נקבע מה האורך של כל צלע ונוודא שלפחות זוג אחד של צלעות מנוגדות של המצולע מסתדר עם רשת LEGO (כדי שתהיה לנו דרך לחבר את הקיר המצולע ללוח בסיס)?

לשם כך, נצטרך לסקור תחילה את הגיאומטריה של מצולעים ולהכיר כמה מונחים בסיסיים. למצולע רגיל יש n כחומר n הוא 3 או יותר (צלעות באורך שווה. הנקודות שבהן כל 2 צלעות סמוכות מצטלבות נקראות *קודקוד* והזווית שהן עושות בקודקוד הפנימי למצולע נקראת *הזווית הפנימית*. במצולע רגיל גם כל הזוויות הפנימיות שוות. מוצג להלן משושה עם 6 צלעות שוות בהן נשתמש למטרות המחשה.

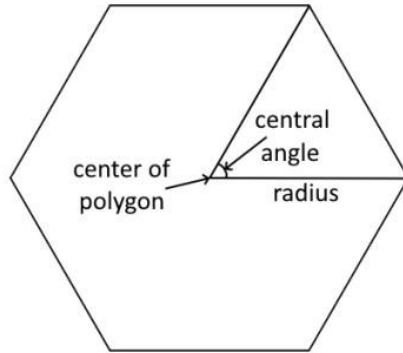


לכל המצולעים הרגילים יש מרכז שנמצא במרחק שווה מכל אחד מהקודקודים והמרחק הזה נקרא *הרדיוס*. אם נצייר קווים מהמרכז לכל אחד מהקודקודים, נחלק את המצולע ל n -משולשים זהים. הזווית שנוצרת על ידי צלעות המשולש שמצטלבות במרכז נקראת *הזווית המרכזית*.

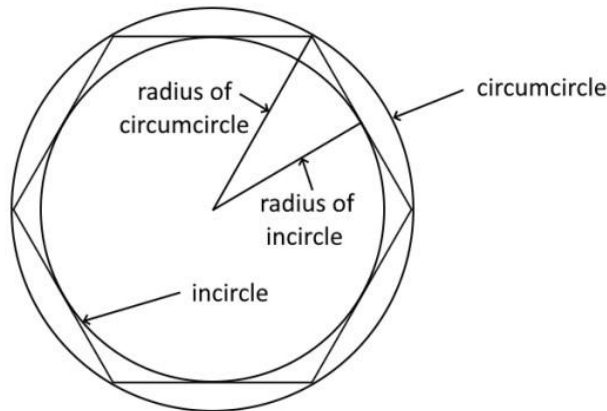




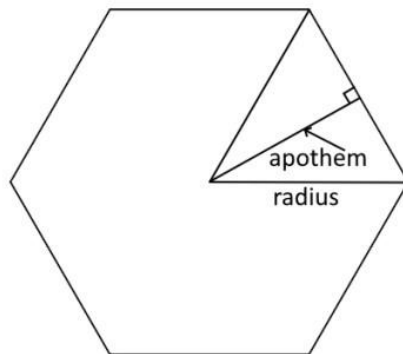
The Israel Adult Fans of...



אם תצייר עיגול עם אותו מרכז ורדיוס כמו המצולע, הוא יעבור דרך כל אחד מקודקודי המצולע. מעגל זה נקרא מעגל מעגל. אפשר גם לצייר עיגול קטן יותר עם אותו מרכז שעובר דרך נקודת המרכז של כל אחת מהצלעות. מעגל זה נקרא *incircle*.



רדיוס העיגול שווה לאורכם של הקווים הנמשכים מהמרכז הפוגשים כל אחת מהצלעות בנקודות המרכז שלהן. קווים אלו מאונכים לצדדים ואורכם נקרא אפוטם.



אם ניצור מצולע רגיל באמצעות חלקי LEGO, עלינו לוודא שהמרחק בין כל זוג צדדים מנוגדים (שיהיה פי שניים מהאפוטם) יהיה קרוב מספיק למספר שלם של חתיכים. זה יאפשר לנו לחבר את הקיר המצולע בחוזקה ללוח בסיס.

הבה נבין כיצד ניתן לחשב את הפתגם אם אנו יודעים את n (מספר הצלעות) ואת אורך כל צד בחתיכים. ראשית, נתחיל עם הזווית המרכזית. אם למצולע יש n צלעות, הזווית המרכזית תהיה $360/n$. מכיוון שסכום הזוויות בכל אחד מ- n -המשולשים





The Israel Adult Fans of...

יסתכם ב-180°, ושתי הזוויות האחרות במשולש הן בעצם חצאים זהים של הזווית הפנימית, נוכל לחשב את הזווית הפנימית כ-180 - 360/n שלפעמים נכתב כ-n))--(2)*180)/n.

אם נחלק את אחד מ-n המשולשים לשני משולשים ישרי זווית שיקוף, הטנגנס של חצי מהזווית המרכזית יהיה שווה למחצית האורך של כל צלע (הצלע הנגדית) חלקי האפוטם (הצלע הסמוכה).

$$\tan(360/2n) = s/2a$$

אשר ניתן לפשט

$$\tan(180/n) = s/2a$$

אז הנוסחה לחישוב האפוטם בסופו של דבר

$$a = s/(2*\tan(180/n))$$

תצטרך מחשבון מדעי בשביל זה, אבל אתה יכול גם להשתמש באחד מהמחשבוני המקוונים הזמינים כדי לחשב את המילה של המצולע שלך. כל מה שצריך להזין זה את אורך הדופן (מבחינת חתיכים) ומספר הדפנות

דבר אחד שיש לשים לב אליו הוא שכאשר למצולע יש מספר גדול מספיק של צלעות, המצולע מתחיל להתקרב למעגל והאפוטם (a) מתחיל להתקרב לרדיוס המעגל. (r) ניתן לכתוב את המשוואה לאפוטם כ

$$a = s*n/2*(n*\tan(180/n))$$

זה מעבר לתחום של מאמר זה להסביר מדוע, אבל $n*\tan(180/n)$ מתחיל להתקרב ל π -ככל ש-n הולך וגדל. אנחנו יכולים לחבר כמה ערכים שונים עבור n ולאשר שככל ש-n גדול יותר, כך $n*\tan(180/n)$ מתקרב ל-3.14159... (הערך של π עבור ערך גדול מספיק של n, יש לנו

$$a = s*n/2 \pi$$

n*הוא כמובן סכום אורכי n הצלעות שהיו מתקרבות להיקף המעגל (c) וזה מביא אותנו למשוואה המוכרת להיקף המעגל.

$$c = 2 \pi r$$

וכך, אם מספר הצלעות של המצולע שלנו גדול מספיק (נניח 30 או יותר), נוכל להתחמק משימוש במשוואה פשוטה יותר זו כדי לחשב את הרדיוס או הקוטר של הצורה שלנו (כפי שעשינו במאמר זה על צורות עגולות).





The Israel Adult Fans of...

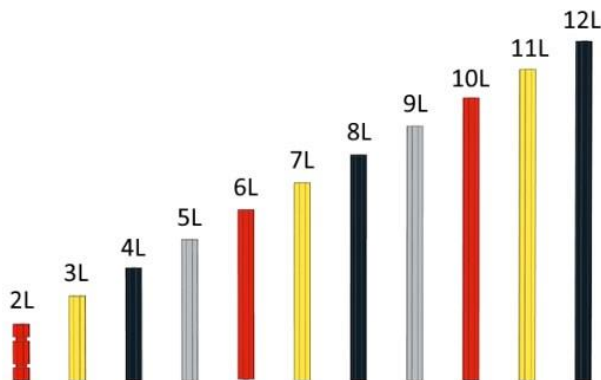
LEGO Technic

LEGO Technic הוא קו של מערכות בניין שהוצג בשנת 1977. ערכות טכניות מיועדות לבונים מתקדמים יותר שרוצים לקחת את דגמי LEGO שלהם לשלב הבא על ידי הוספת חלקים נעים עם מנגנונים מציאותיים. ערכות טכניות כוללות יותר מסתם לבנים רגילות, לוחות וכו'. הם כוללים גם חלקים מיוחדים כגון קורות, גלגלי שיניים, סרנים ומחברים. אפשר אפילו במקרים מסוימים להוסיף מנועים קטנים כדי למכנ את הדגם.

במאמר זה נסתכל רק על האלמנטים הטכניים המשמשים בשני הסטים הרשמיים שאנו נסקור (הגלוב והמגן של קפטן אמריקה). אלה בקושי מגרדים את פני השטח של קטלוג Technic שיש בו מאות סוגים שונים של חלקים.

סרנים טכניים

סרנים צולבים של LEGO המכונה בדרך כלל סרנים הם מוטות עם חתך בצורת צלב. הם מגיעים באורכים שונים שהם כפולות של חתך ונקראים על פי האורך שלהם (בחתיכים 2L, 3L) וכן הלאה LEGO. (בדרך כלל מקודדת את הצירים שלהם כדי להקל על זיהוים. האורכים הזוגיים הם בשחור או אדום, בעוד שהמספרים האי זוגיים הם באפור כחלחל בהיר או צהוב. סרנים יכולים להיות שימושיים לחיבור בין אלמנטים טכניים שונים כולל גלגלי שיניים, גלגלים וכו'.



מחברי סרן ופינים טכניים

כפי שהשם מרמז, ניתן להשתמש בחלקים אלה ליצירת חיבורים שונים בקו ישר או בזווית. יש להם גם חור שמקבל סיכה טכנית. עבור מאמר זה, נתמקד רק במשפחה מסוימת של מחברי ציר זווית ופינים אשר מורכבת מ-6 סוגי חלקים המזוהים עם המספרים 1 עד 6 (החלקים עצמם מסומנים במספרים אלו). הזוויות שחלקים אלו יוצרים נעות בין 90° ל- 180° .





The Israel Adult Fans of...



לפניכם טבלה המציגה את כל החלקים ואת הזווית שכל אחד יוצר. במבט ראשון, הזוויות 157.5° , 135° ו- 112.5° אולי נראות די אקראיות אבל הן באמת לא. למעשה, אם תחלק את הטווח שבין 90° ל- 180° ל-4 חלקים שווים, יהיו לך זוויות מופרדות במרווחים של $22.5^\circ = 90/4$ והזוויות 112.5° , 135° ו- 157.5° מתחילות ליצור הרבה יותר לחיץ.

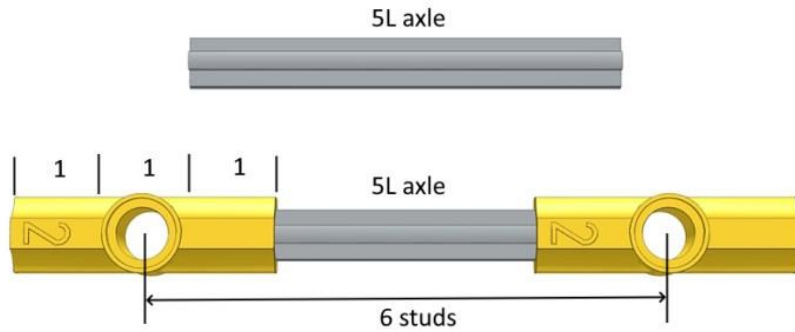
מספר	מספר חלק	זוית
1	32013	—
2	32034	180°
3	32016	157.5°
4	32192	135 מעלות
5	32015	112.5°
6	32014	90°

כעת הבה נבחן את הממדים של המחברים הללו. המחבר מס' 2 (זווית של 180° מעלות) הוא בדיוק 3 חתיכים מקצה לקצה. כאשר אנו משתמשים בו כדי לחבר שני סרנים יחדיו, הסרנים יכולים להיכנס למחבר על ידי חתך אחד בכל צד.

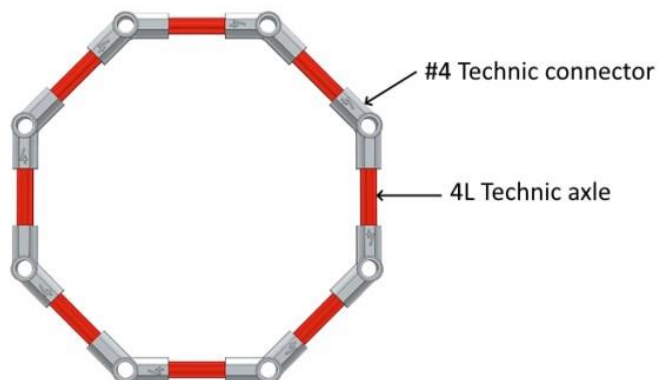




The Israel Adult Fans of...



זה משאיר בדיוק חתך אחד באמצע עבור החלק שיש בו את החור הטכני. המרחק משני קצות המחבר למרכז החור הטכני הוא 1.5 חתיכים. הדבר נכון גם למחברים הזויים, ולכן אם אתה רוצה שיהיה לך מרחק של 6 חתיכים בין החורים בשני מחברים המחוברים לשני צידי סרן, הסרן הזה יצטרך להיות באורך של 5 חתיכים. אילו שימושים מעשיים יכולים להיות לזוויות השונות שמחברים אלה יוצרים, בבניית LEGO? למשל את הזווית הפנימית של מתומן רגיל. זה $180 - 360/8 = 180 - 45 = 135^\circ$. וכך, אנחנו יכולים להשתמש בצירים ובמחברים מס' 4 כדי ליצור מתומן. באמצעות מחשבון האפוטם אנו רואים שהאפוטם של המתומן קרוב מספיק למספר שלם של חתיכים (6) כאשר כל צד באורך 5 חתיכים. זה אומר שעלינו להשתמש בצירי 4 לצירי המצולע.



מדוע האפוטם של המצולע חייב להיות מספר שלם של חתיכים גם כאשר אנו משתמשים בחלקים טכניים שאינם מחוברים ללוח בסיס? הסיבה היא שהמסגרות הבנויות באמצעות אלמנטים של Technic בדרך כלל זקוקות לחיזוק מבני פנימי והרבה יותר קל להוסיף זאת כאשר המרחק בין הצדדים הנגדיים של המצולע הוא מספר שלם של חתיכים.

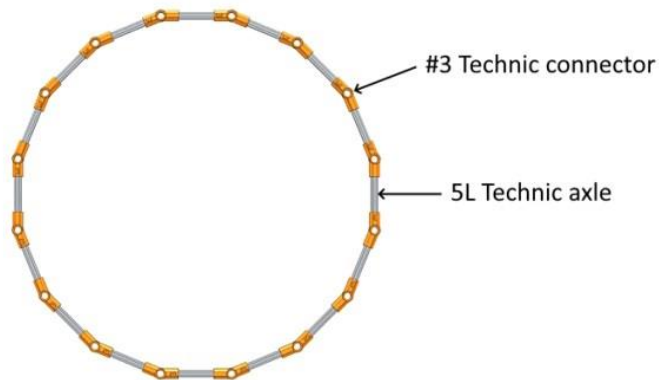
הבה נסתכל בשלב הבא על מצולע רגיל עם 16 צלעות אשר נקרא *משושה*. הזווית הפנימית כאן היא $180 - 360/16 = 180 - 22.5 = 157.5$ מעלות. זה אומר שאנחנו יכולים להשתמש ב-16 מתוך המחברים מס' 3 כדי ליצור את המצולע הרגיל עם 16 צלעות. כל צד יכול להיות באורך של 4 או 6 חתיכים עבור משפט שקרוב מספיק





The Israel Adult Fans of...

למספר שלם (10 או 15 בהתאמה). המקרה האחרון מוצג בתמונה למטה עם סרנים L Technic 5 המשמשים לכל אחד מ-16 הצדדים.



לא ניתן להשתמש במחבר מס' 5 ליצירת מצולע רגיל. עם זאת ניתן לשלב אותו עם סוגי המחברים האחרים כדי ליצור סוגים רבים ושונים של מצולעים. למעשה, אתה יכול להשתמש במספור הבא) ששונה מהמספור הרשמי של (LEGO כדי להבין את הדרכים השונות שבהן ניתן להשתמש במחברים הזויים (הכלל הוא שהמספרים יוסיפו לסך של 16 כדי ליצור סגור מצולע).

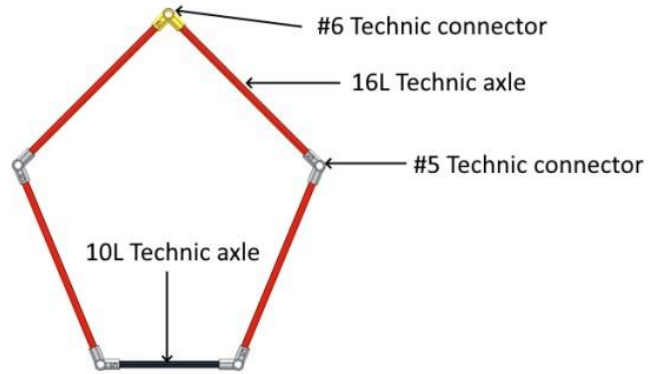
מספר	סוג מחבר	זווית
1	#3	157.5°
2	#4	135 מעלות
3	#5	112.5°
4	#6	90°

כבר ראינו כיצד אנו יכולים להשתמש ב-8 מתוך המחברים מס' 4 (22222222) כדי ליצור מתומן או 16 מתוך המחברים מס' 3 (1111111111111111) כדי ליצור משושה. שימוש ב-4 מתוך המחברים מס' 6 (4444) ליצירת ריבוע או מלבן הוא גם דבר לא מובן מאליו. כמה שילובים אפשריים המשתמשים במחבר #5 הם 333331, 33334 ו-332222. מוצג להלן המצולע שנוצר באמצעות 33334 (מחברים #5 ו-#6). שימו לב שזהו המחומש הקטן ביותר עם זווית אחת של 90° וארבע זוויות של 112.5° עם אורכי צלעות שכל אחת קרובה מספיק למספר שלם של חתיכים (17, 17, 17, 17, 11).





The Israel Adult Fans of...

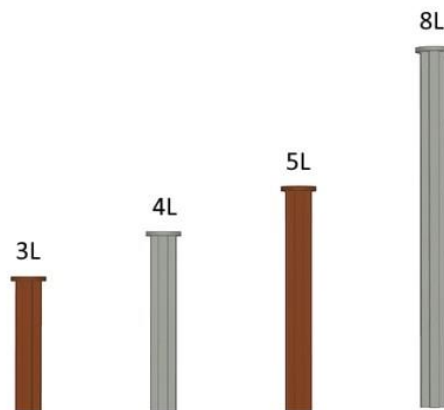


Technic Bush Pieces

שיח הוא חלק עם חור בצורת צלב שיכול להתאים בחוזקה על ציר. זה מגיע באורכים של חצי חתיך וחתיך אחד) ששמו 0.5L ו-1L בהתאמה. (ניתן להשתמש בו כדי להפריד בין חלקים במדויק במרווחים של חצי חתיך או כדי להחזיק חלקים על הציר במקומם על ידי פעולה כמעצור קצה.



קטלוג LEGO כולל גם גרסאות של חלק מהסרנים (3L, 4L, 5L, 8L) עם מעצור מובנה. אלה זמינים בדרך כלל בצבעים כמו חום אדמדם ואפור כחלחל כהה, השונים מהסרנים הרגילים.



לבנים וצלחות טכניות עם חורי סרנים

ברור שאנחנו יכולים לחבר סרנים יחד באמצעות חלקי המחבר כדי ליצור את המסגרת הפנימית לכל מיני צורות, אבל אין דרך ליצור את העור החיצוני לצורות אלו מבלי שיהיו



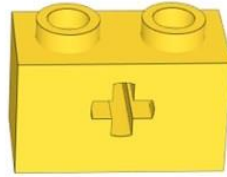


The Israel Adult Fans of...

לנו ניטים זמינים אליהם נוכל לחבר צלחות LEGO. אחת הדרכים ליצור חתיכים אלה היא באמצעות לבני Technic שיש להם חורי סרן.



73230

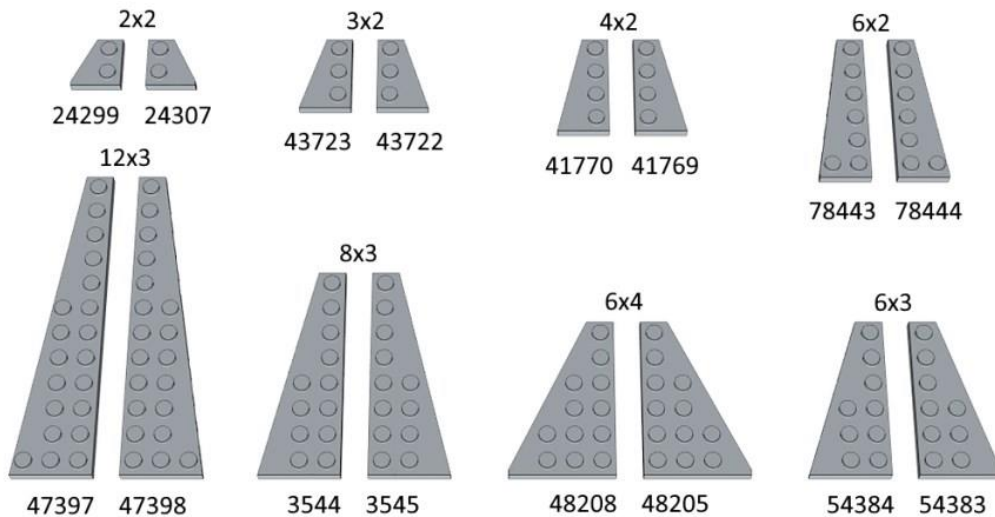


32064

אנו יכולים להעביר את הסרנים המרכיבים את המסגרת דרך הלבנים הללו (למקם אותם בצורה נכונה באמצעות חלקי שיח במידת הצורך) וזה נותן לנו דרך לחבר לוחות LEGO ליצירת המשטח החיצוני. עם זאת, כאשר אנו מדברים על מסגרת טכנית שמתקרבת לצורה מעוקלת (כמו כדור), לוחות מלבניים רגילים לבדם עשויים שלא תמיד לעבוד. זה המקום שבו צלחות טריז יכולות להיכנס לתמונה.

צלחות טריז

אלו הן גרסאות של צלחות LEGO רגילות, אלא שיש להן חלק קטום בזווית. יש מספר רב של לוחות טריז בקטלוג LEGO בגדלים הנעים בין 2x2 ל-3x12. כל סוג של לוחית טריז (למעט אלו שיוצרות זווית של 45°) מגיע בגרסה שמאלית וימנית (שהיא פשוט תמונת מראה של הגרסה השמאלית). להלן דגימה של צלחות הטריז השונות הזמינות.

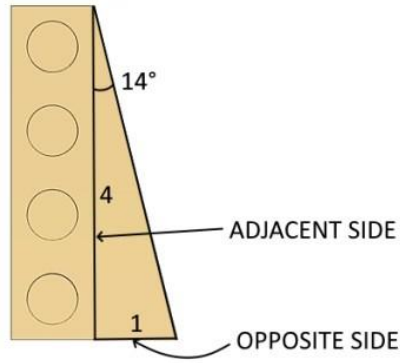


קל לחשב את הזווית שהקצה המלוכסן של כל לוחית טריז יוצר באמצעות טריגונומטריה בסיסית (החלק הקטום הוא משולש ישר זווית ולכן הטנגנס של הזווית שווה לצלע הנגדית חלקי הצלע הסמוכה).





The Israel Adult Fans of...



מכיוון שאנו יודעים את אורכי הצלעות הנגדיות והסמוכות במונחים של חתיכים, נוכל למצוא את הטנגנס ההפוך (ארקטן) ולהרכיב טבלה שלמה עם הזוויות שנוצרות על ידי כל סוג של לוחית טריז.

סוג	מספר חלק (משמאל)	מספר חלק (מימין)	הצד הנגדי	צד סמוך	זווית
2x2	24299	24307	1	2	26.56°
3x2	43723	43722	1	3	18.43 מעלות
4x2	41770	41769	1	4	14°
6x2	78443	78444	1	6	9.46°
6x3	54384	54383	2	6	18.43 מעלות
6x4	48208	48205	3	6	26.56°
8x3	3544	3545	2	8	14°
12x3	47397	47398	2	12	9.46°





The Israel Adult Fans of...

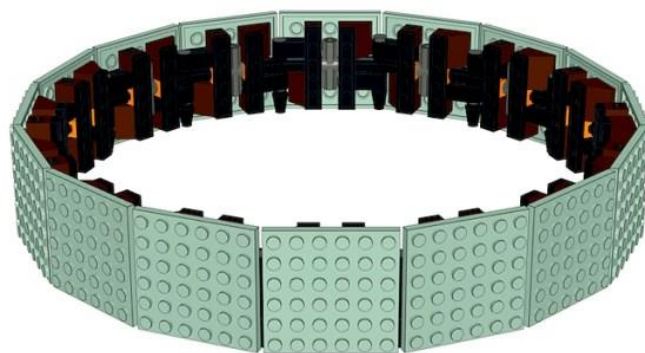
כעת נראה כיצד ניתן להרכיב את כל הסוגים השונים של אלמנטי LEGO כדי ליצור את הצורות המעוקלות של הגלובוס ומגן קפטן אמריקה.

הגלובוס

אם תסתכל על הצורה החיצונית של הגלובוס, תראה שהקטע באמצע (שם קו המשווה יהיה על כדור אמיתי) מורכב מלוחות רגילים של 6×6 וישנם 16 מהם המשמשים לקירוב צורה עגולה. אם זה נראה מוכר, זה בגלל שכבר ראינו משושה עם אורך צד של 6 חתיכים שניתן ליצור באמצעות 16 מחברים #3 (157.5°).



אנחנו צריכים חתיכת סרן של 5 ליטר לכל צד של משושה זה ואם נעביר אותו דרך לבנים עם חורי סרנים (ראה את ההוראות לפרטים) כך שהחתיכים על הלבנים האלה פונים כלפי חוץ, נוכל לחבר את הלוחות 6×6 הדרושים כדי ליצור את המשטח החיצוני. שימו לב שבכל אחד מ-16 הפאנלים משתמשים גם בזרועות הרמה של Technic 1×3 ואלה מחוברים יחד באמצעות סרנים של 4 L עם מעצורים לחיזוק נוסף. תוכלו לשים לב שבתמונות הבאות, לצלחות על פני השטח החיצוניים צבע ירוק חול לצרכי המחשה. ערכת הגלובוס בפועל משתמשת בכחול כהה, שאינו בולט היטב בעיבודים (מה שמקשה לראות מה קורה).

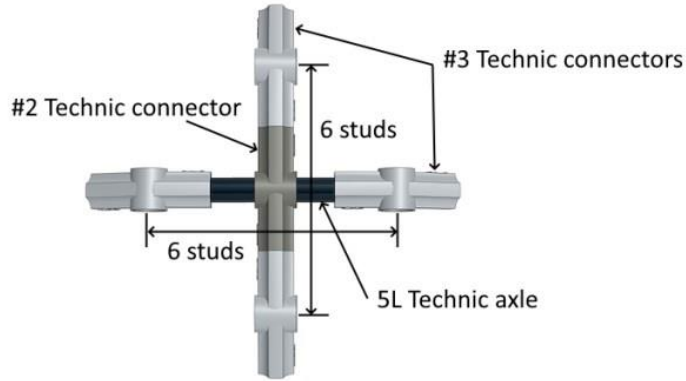


כעת, הגלובוס הוא כדורי ולכן עלינו ליצור את אותה צורה עגולה גם בשני הממדים האחרים. המחשבה הראשונה שעולה בראש היא - האם נוכל ליצור גם טבעות משושה בכיוונים האנכיים באמצעות אותם מחברים מס' 3? כן בהחלט. הדרך לחבר את הטבעות האנכיות הללו לאופקי היא על ידי העברת הסרנים האופקיים של 5 L דרך החור במחבר #2 (180°) הממוקם אנכית ואז לחבר אותו למחברים #3 הממוקמים בחלק העליון והתחתון) באמצעות סרנים של 2. L

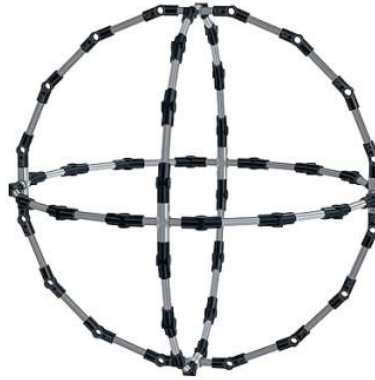




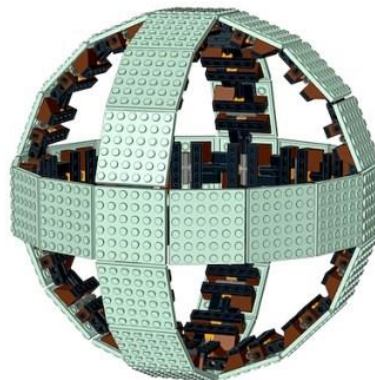
The Israel Adult Fans of...



זה יוצר את אותו מרווח של 6 חתיכים בין החורים במחברים מס' 3 בצורה אנכית שאנו מקבלים אופקית על ידי שימוש בציר 5L. האם אנחנו יכולים פשוט ליצור קבוצה מצטלבת של טבעות ב-3 המימדים ולחבר אליהן לוחות 6x6?

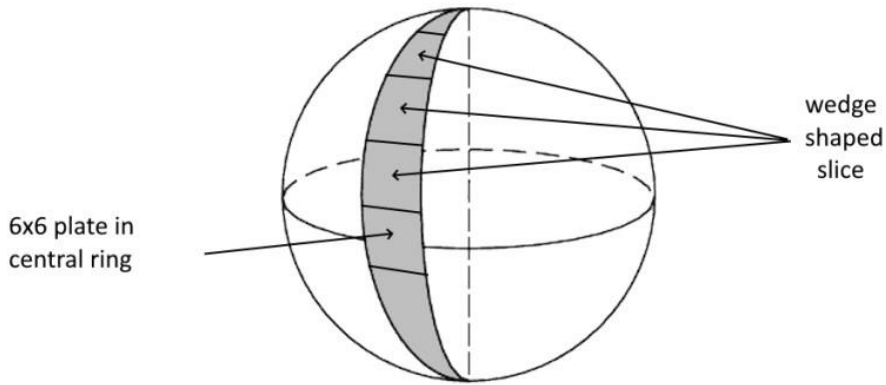


זה נשמע הגיוני אבל זה לא עובד כל כך טוב בפועל - במיוחד מכיוון שאין דרך טובה לסגור את החורים שנתרו.

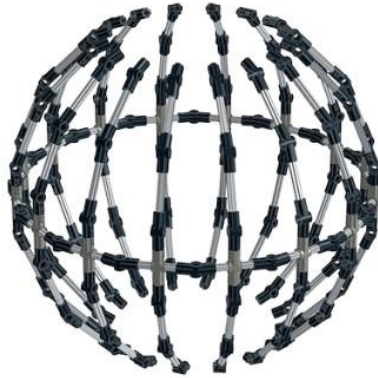


במקום לנסות להשתמש בצלחות 6x6 לכל אורכה, נוכל ליצור 16 פרוסות בצורת טריז המחוברות לחלק העליון והתחתון של הטבעת המרכזית. אלה היו מתחדדים כשהם מגיעים לקטבים בכל חצי כדור. כמובן, הדרך הטובה ביותר ליצור את הפרוסות האלה בצורת טריז היא באמצעות צלחות טריז.



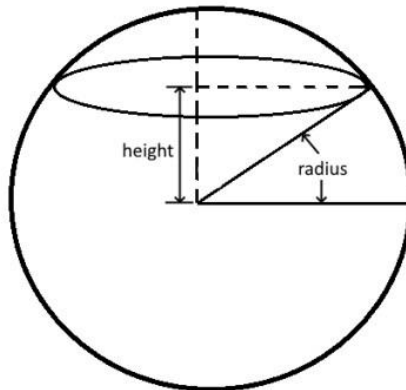


אבל תחילה עלינו ליצור מסגרת פנימית שנוכל לחבר אליה את הפרוסות בצורת טריז. אנחנו יכולים להשתמש באותה שיטה כמו קודם כדי ליצור 8 טבעות אנכיות המחוברות ל-16 הצדדים של הטבעת האופקית שלנו. רק שהפעם, אין מצב שהטבעות הללו יכולות להצטלב בקטבים ולכן נתחיל עם טבעות לא שלמות שעוצרות הרבה מהקטבים. נצטרך למצוא דרך אחרת לחבר את הטבעות יחד בקטבים.

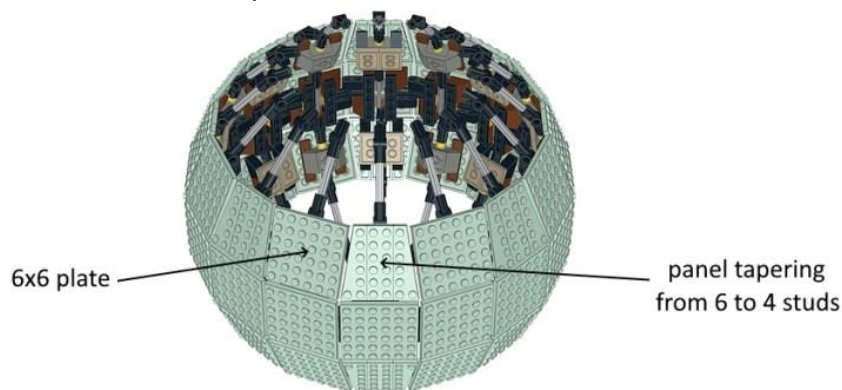


תן לנו לעשות כמה חישובים מהירים של גב המעטפה כדי לקבוע איזה סוג של לוחות טריז אנחנו עשויים להזדקק. נשתמש שוב בצלחות בגובה 6 חתיכים) בהתבסס על המרווח בין מחברי Technic בכיוון האנכי.

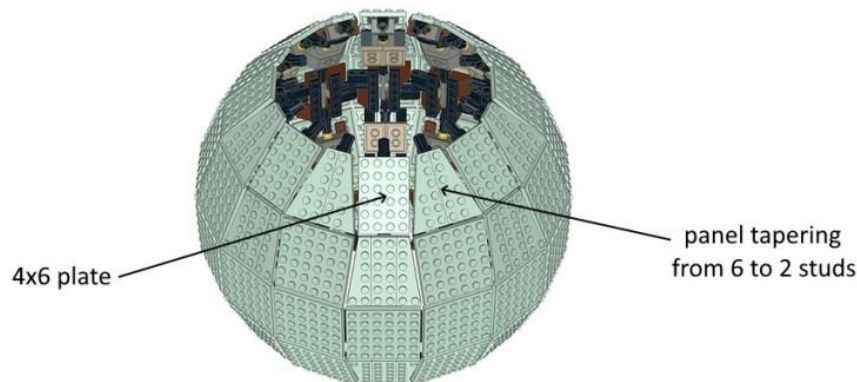
אנו יכולים להשתמש בנוסחת העיגול לחישובים הגסים הללו למרות שמספר הצלעות במצולע שלנו אינו גדול במיוחד. היקף המעגל שנוצר מהשורה הקיימת הוא $6 \times 16 = 96$ חתיכים והרדיוס שלו מגיע ל- $96/2$ חשזה בערך 15 חתיכים. אם נוסיף עוד שורה של לוחות מעל השורה הקיימת, היקף העיגול בקצה העליון של שורה שנייה זו יהיה בערך 80 חתיכים. נוכל להבין זאת באמצעות משפט פיתגורס.



הגובה מקו המשווה למעגל הקטן יותר הזה הוא בערך $3+6 = 9$ חתיכים. הקו ממרכז הכדור למעגל הקטן יותר הזה שווה לרדיוס הכדור שהוא התחתון של משולש ישר זווית. אחת הצלעות היא הגובה שהוא 9 חתיכים וזה נותן לנו את רדיוס המעגל הקטן $\sqrt{15^2 - 9^2} = 12$. ההיקף של המעגל הקטן יותר הזה הוא $2 \cdot 12 \cdot \pi = 75.36$. כעת, עקב עקמומיות הכדור, הלוחות לא יהיו אנכיים לחלוטין והגובה בפועל יהיה פחות מ-9 חתיכים והיקף המעגל הקטן יותר יהיה יותר מ-75.36. אז אנחנו צריכים להיות בסדר לעגל את 75.36 לכפולה הגבוהה הבאה של 16 שהיא 80. 80 חלקי 16 זה 5 וזה אומר שאנחנו צריכים שכל פרוסה תתחדד מ-6 חתיכים ל-5 חתיכים. עם צלחות הטריז הקיימות, קל יותר להשיג היקף של 80 ניטים על ידי 6 ו-4 ניטים לסירוגין. לכן נצטרך להחליף פרוסה באמצעות צלחות 6×6 עם פרוסה שמתמשת בצלחות טריז כדי ליצור התחדדות בין 6 ל-4 חתיכים (צלחת 6×4 עם צלחות טריז 2×6 משני הצדדים תעשה את העבודה).



בשורה שמעל לשורה זו, העיגול בקצה העליון קטן עוד יותר בהיקף של 48 חתיכים בערך. במקום לצמצם כל פרוסה ל-3 חתיכים נוכל לקבל את אותו היקף על ידי 4 ו-2 חתיכים לסירוגין. זה אומר שאנחנו מחליפים פרוסה שיש לה צלחת 6×4 עם אחת שמתחדדת מ-6 חתיכים ל-2 חתיכים (שמושג באמצעות שתי פלטות טריז 3×6).

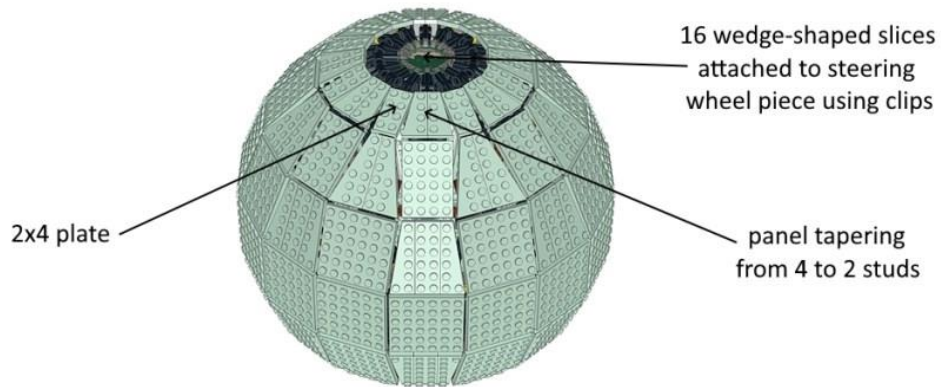


בשל העקמומיות של הכדור, השורה השלישית מעל זה תצטרך להתחדד לעיגול קטן עוד יותר בקוטר של 6 חתיכים בלבד והיקף של כ-19 חתיכים שאינם כפולה של 16. המעצבים בחרו במקום זאת להשתמש ב-10. 10×10 חתיכות צלחת בקטבים של הגלובוס וזה אומר שהשורה השלישית צריכה להיות קצרה יותר (רק בגובה 4 חתיכים). עבור קטע זה של המסגרת הפנימית, נעשה שימוש בחתיכת סרן של 4 ל' במקום סרן של 5 ל' ויש חלקי תפס המחברים למחבר מס' 3 הקרוב ביותר למוט. זה מאפשר לנו לחבר את כל 16 הפרוסות לחתיכת הגה עגולה הממוקמת בעמודים. לכלי

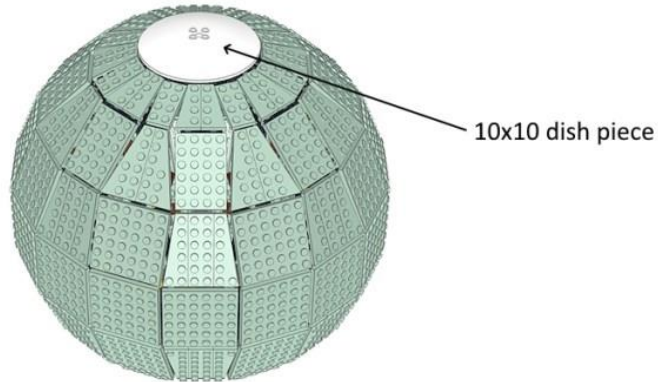


The Israel Adult Fans of...

המנה בקוטר 10 חתיכים יש היקף גס של 32 חתיכים וניתן להעריך זאת באמצעות משושה עם 2 חתיכים בצד אחד. כאן פרוסות עם צלחות 4x2 מתחלפות עם פרוסות שיש להן שתי צלחות טריז 4x2 אשר יחד מתחדדות מ-4 ל-2 חתיכים.

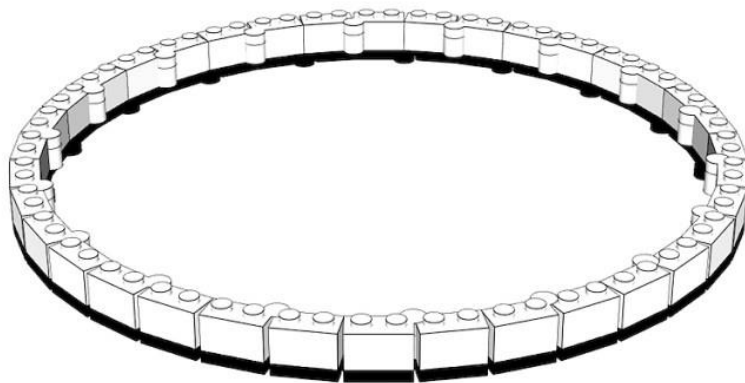


חלקי גלגל ההגה כוללים חתיכים באמצע המאפשרים לנו לעלות על הגלובוס עם חתיכות המנה בשני קצותיו, המייצגות את הקוטב הצפוני והדרומי של הגלובוס.



מגן קפטן אמריקה

העיצוב של דגם LEGO של מגן קפטן אמריקה מבוסס שוב על צורה מצולעת. הפעם מדובר במצולע עם 36 צלעות וכל צד באורך 2 חתיכים. מצולע זה בנוי באמצעות לבנים וצלחות צירים ויוצר את הליבה הראשית שאליה מחוברים שאר החלקים, ליצירת הצורה העגולה.



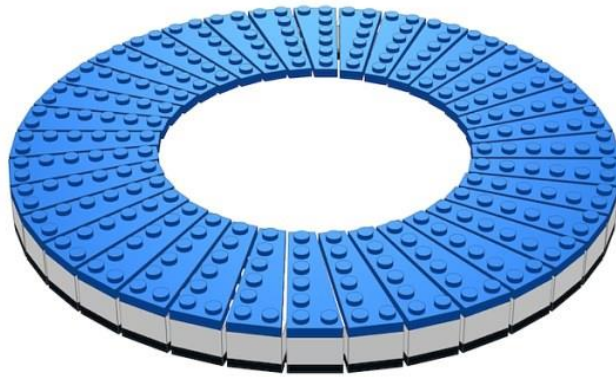
הזווית המרכזית של המצולע היא $10^\circ = 360/36$. בהסתכלות על טבלת הזוויות שנוצרות על ידי לוחות טריז אנו רואים שהלוחות 2x6 יוצרים זווית של $\arctan(1/6) = 9.46^\circ$ שהיא קרובה מספיק ל- 10° . נוכל לאשר זאת על ידי הצמדת לוחות טריז בגודל



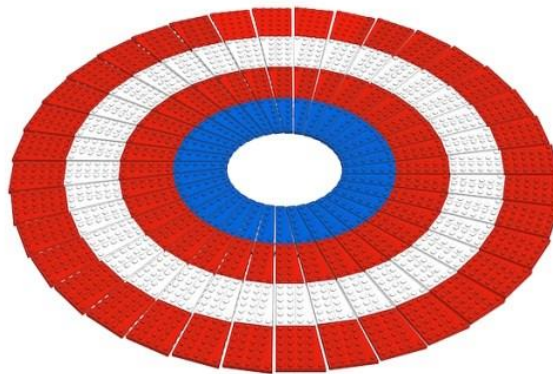


The Israel Adult Fans of...

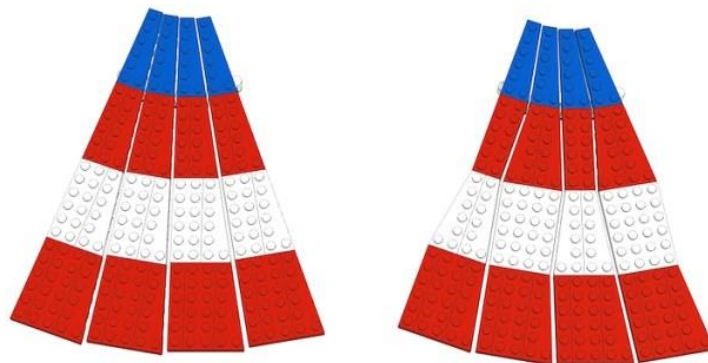
2x6 למצולע כך שיצביעו פנימה. כפי שאתה יכול לראות, כל לוחות הטריז משתלבים יפה עם פערים מינימליים.



אם ניצור לוחות הנמשכים החוצה מהמצולע תוך שמירה על אותה זווית, נוכל להשתמש בהם כדי להפוך את העיגול לגדול ככל שנצטרך (כל עוד יש לנו דרך לתמוך בכל לוח). סט המגן יוצר פאנל עם 4 חלקים שהם כחול, אדום, לבן ואדום (הולכים מהמרכז כלפי חוץ). כל חלק צריך להשתמש בצלחת טריז 2x6 ולכן הוא בגובה 6 חתיכים. אם ניצור את הצורה העגולה באמצעות לוחות שמתרחבים באותו כיוון כפי שמוצג למטה, נקבל קצה חיצוני מעט משונן.



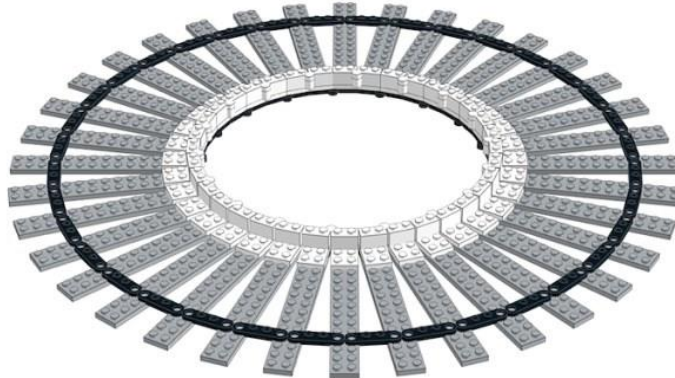
אז מעצבי LEGO החליטו לערבב קצת דברים על ידי יצירת דפוס מתחלף של שני סוגים שונים של לוחות. בכל אחד מהפנלים הללו אחד משני החלקים האמצעיים משתמש בלוחות מלבניים רגילים ואילו השני משתמש בשתי לוחות טריז כדי להתלקח לשני הכיוונים. זה מבטיח שכל פאנל לא יתלקח יותר מדי לאף כיוון אחד ומפחית את המשוננות בקצה החיצוני.



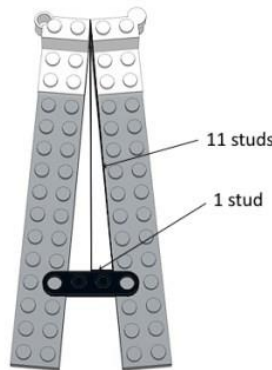


The Israel Adult Fans of...

המבנה הפנימי שאליו מחוברים לוחות אלו, נוצר על ידי שימוש בלוחות 14×2 רגילים המוצמדים לצידי המצולע. לוחות אלו מחוברים יחד באמצעות לוחות 4×1 המחוברים במרחק של 11 חתיכים מנקודת הסיבוב של הצירים המרכיבים את המצולע.



אנו יכולים לאשר שצלעות המשולש הישר זווית (עם צלע נגדית שאורכה 1 חתיכים ותחתית באורך 11 חתיכים) יוצרות את הזווית הדרושה (5° שהיא מחצית מזווית 10° בין הלוחות 14×2) $\sin(5^\circ) = 0.087$. שהוא קרוב מספיק ל- $1/11 = 0.09$.

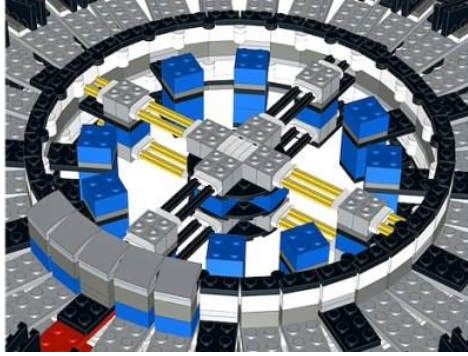


התפיסה של המצולע עם 36 צלעות (וכל צד שאורכו 2 חתיכים) מתברר כ-11.43 חתיכים (באמצעות מחשבון האפוסטם המקוון). בהתחשב במספר הרב של הצלעות נוכל לפשט את החישובים שלנו ולהתייחס למצולע כאל מעגל בהיקף של $72 = 2 \times 36$ חתיכים. הרדיוס של עיגול זה הוא $72/2 = 36$ חתיכים. $\pi \times 36 = 114.6$ חתיכים. הקוטר (או המרחק בין כל שני צדדים מנוגדים של המצולע) קרוב מספיק ל-23 חתיכים. ערכת Captain America Shield משתמשת בצירי Technic לבנים עם חורי סרנים ובזרועות הרמה של 1×2 Technic שכל אחת מהן בעובי חצי חתך ליצירת מבנה ליבה בגודל 19×19 חתיכים כאשר נמדדים בין החתיכים החיצוניים ביותר. מבנה זה מחובר במרחק של 2 ניטים מצידי המצולע באמצעות לוחות 8×2 המצביעים פנימה למרווח כולל של $2 + 19 = 23$ ניטים.

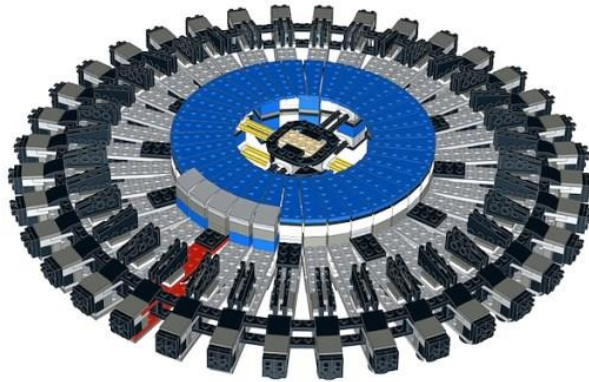




The Israel Adult Fans of...



הקימור של המגן הוא הרבה יותר עדין מזה שנדרש עבור הגלובוס ולכן במקום להשתמש במחברי Technic, המעצבים בחרו פשוט להשתמש בלבנים, צלחות ומעניין כמה לוחות טריז המונחים הצידה כדי ליצור את המבנה הפנימי. הלוחות היוצרים את העור החיצוני פשוט נשענים על המבנה הפנימי הזה.



כל חלק של הפאנל משתמש בפלטות עם ידיות מוטות וקליפסים המאפשרים לצירים באופן עצמאי כדי להשיג את העקמומיות הדרושה. החלק החיצוני מוצמד גם הוא למסגרת הפנימית שוב באמצעות אותה ידית מוט ושיטת קליפ.





The Israel Adult Fans of...

סיכום

ראינו כיצד טכניקה המשתמשת בלוחות טריז (ורגילים) בשילוב עם מבחר אלמנטים טכניים ליצירת צורות מעוקלות, שימשה להשפעה רבה בשניים ממערכות LEGO העדכניות יותר. האם אתה מודע לכל מערכות LEGO רשמיות אחרות המשתמשות בטכניקה זו? האם יש טכניקה אחרת שהיית רוצה שאחקור בפרק הבא של הסדרה הזו? אנא ספק כל משוב שיש לך בתגובות למטה...

בנייה מהנה!

המאמר תורגם מתוך אתר האינטרנט Towering Brick Creations.com

כל הזכויות שמורות לאתר האינטרנט Towering Brick Creations.com

כל הזכויות התרגום שמורות לקבוצת AFOLs.IL

The article was translated from the website Towering Brick Creations.com

All rights reserved to the Towering Brick Creations.com website

All translation rights are reserved to the AFOLs.IL group

