תוכנה 1 בשפת Java

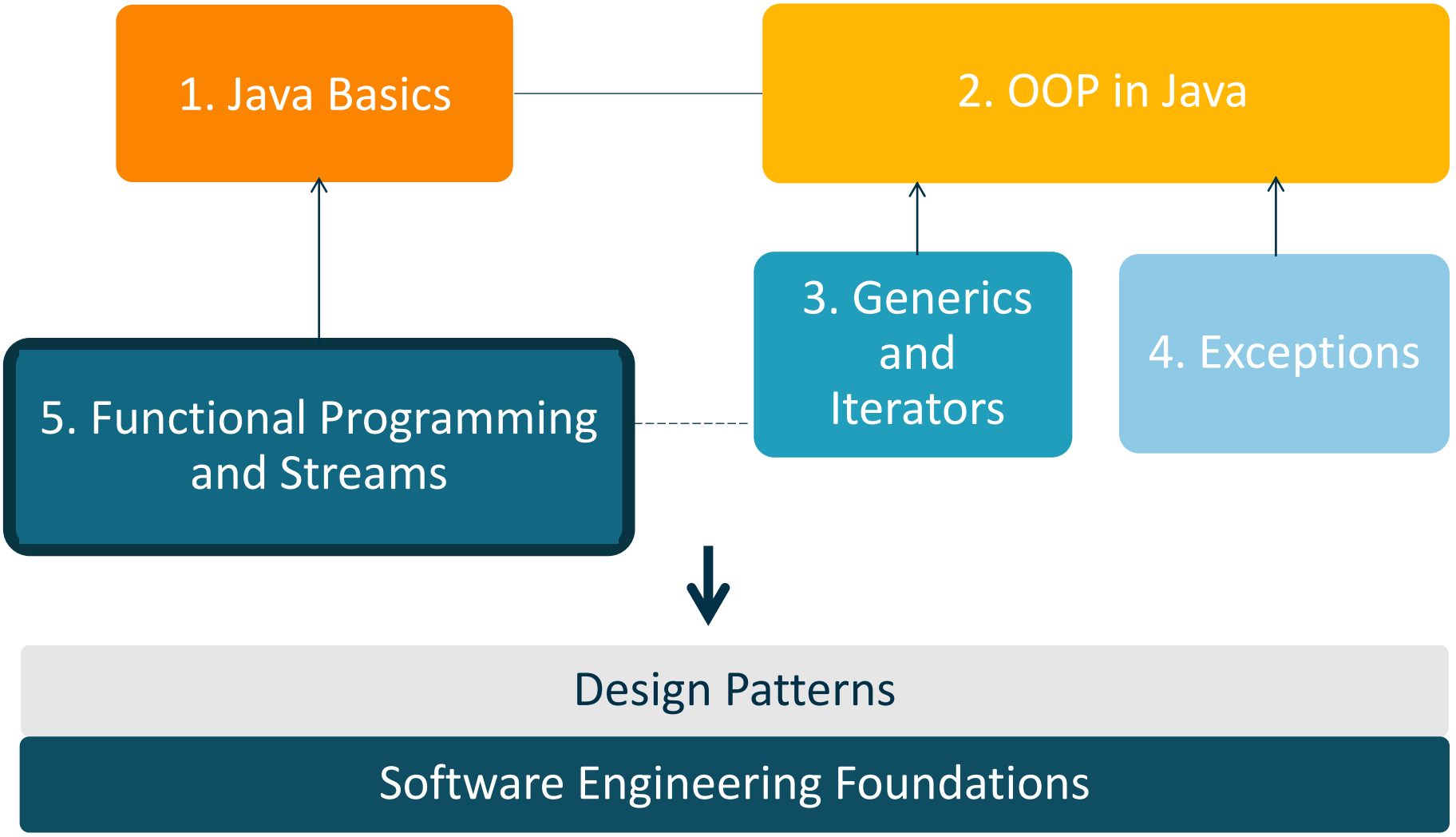
שיעור מספר 9: תכנות פונקציונלי וזרמים

מיכל קליינבורט

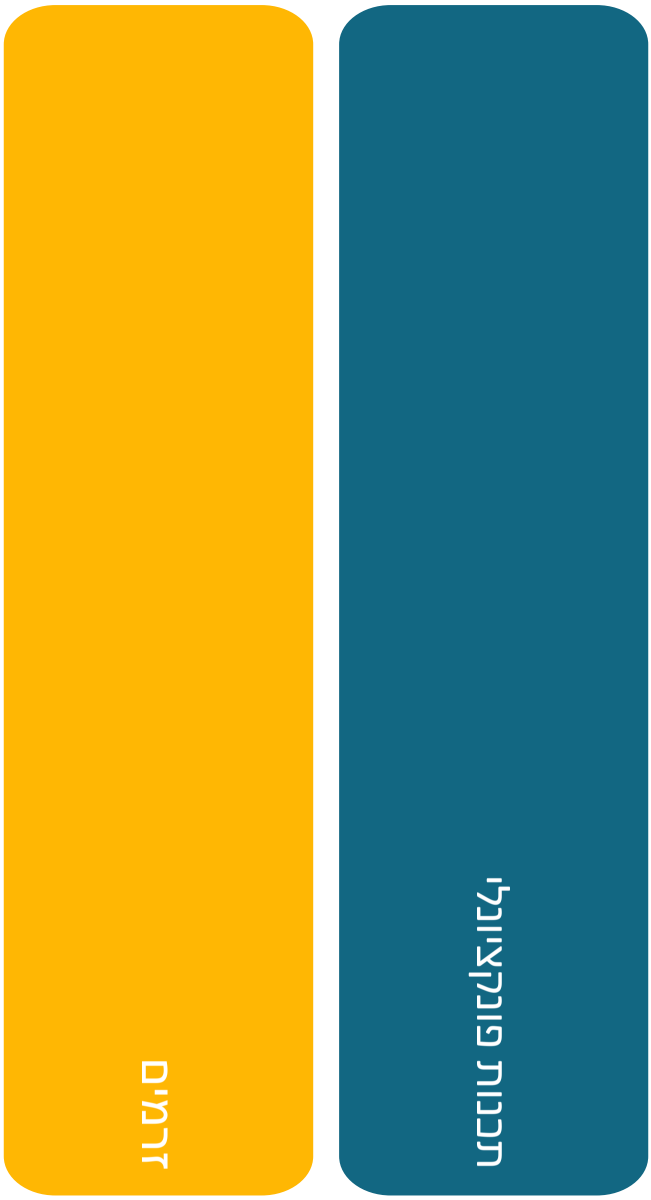
בית הספר למדעי המחשב

אוניברסיטת תל אביב

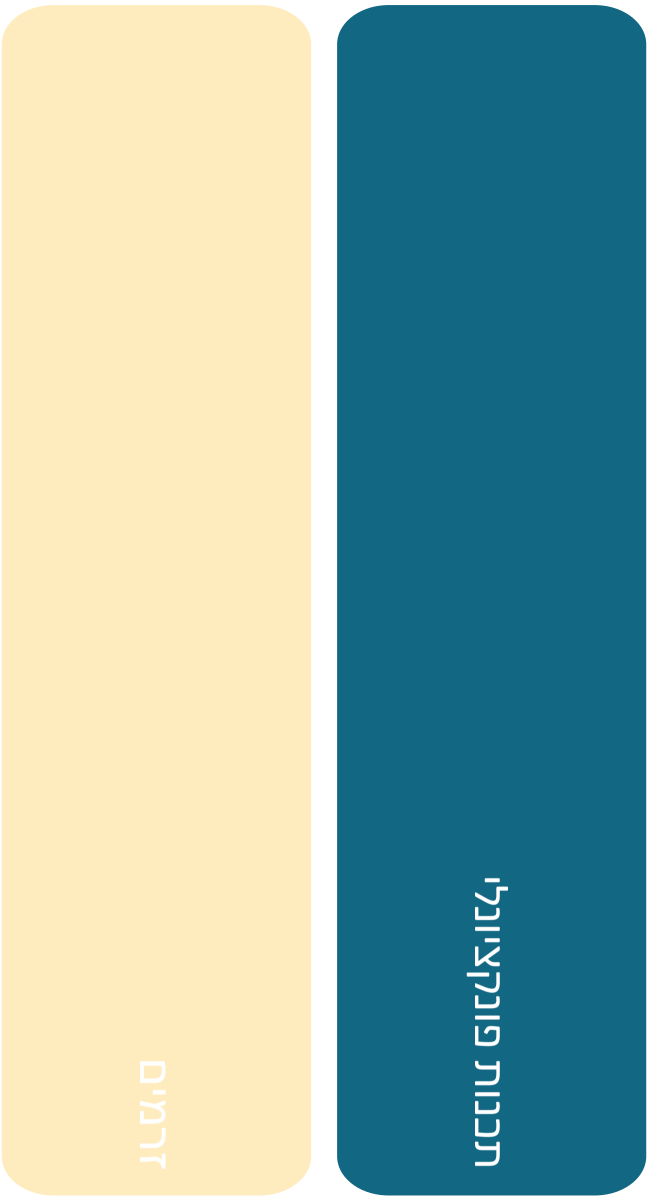
נושאי הקורס


1. Java Basics
2. OOP in Java
3. Generics and Iterators
4. Exceptions
5. Functional Programming and Streams
Design Patterns
Software Engineering Foundations

התוכנית להיום



התוכנית להיום



מחלקה אנונימית

```
Comparator<String> c = new Comparator<String>() {
        @Override
        public int compare(String a, String b) {
                return Integer.compare(a.length(), b.length());
                }
        }
```

- מצד אחד – רמאות! אנחנו מפעילים new על מנשק.
- מצד שני – מילאנו את כל ה"חובות" כלפי המנשק. בעת יצירת האובייקט אנחנו מממשים את השירות compare.
- מדוע אנונימית? כיוון ש C הוא מטיפוס דינאמי ששמו לא ידוע.
  - זה לא יכול להיות Comparator.

מנשקים פונקציונליים

- נרצה למיין רשימת מחרוזות בסדר עולה, על פי אורך המחרוזת.

```
List<String> beatles = Arrays.asList("John",
                                     "Paul", "George", "Ringo");

Collections.sort(beatles, new Comparator<String>() {
        @Override
        public int compare(String a, String b) {
                return Integer.compare(a.length(), b.length());
                }
        }
);
System.out.println(beatles);
```

מנשקים פונקציונליים

- מנשק פונקציונלי הוא מנשק בעל מתודה אבסטרקטית אחת בלבד (אין מניעה להוסיף מתודות דיפולטיות/סטטיות)
- החל מ Java 8 ניתן לממש מנשק פונקציונלי באמצעות ביטויי lambda.

מנשקים פונקציונליים

```
Collections.sort(beatles, new Comparator<String>() {
        @Override
        public int compare(String a, String b) {
                return Integer.compare(a.length(), b.length());
                }
        }
);
```

```
Comparator<String> cmp = (String x, String y)-> {
                return Integer.compare(x.length(), y.length());
                };
Collections.sort(beatles, cmp);
```

מנשקים פונקציונליים

- אפשר להימנע מיצירת המשתנה עבור ה Comparator, ולשלוח את פונקציית ה lambda ישירות ל sort.

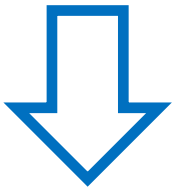
```
Collections.sort(beatles,
            (String x, String y)-> {
                return Integer.compare(x.length(), y.length());
                });
```

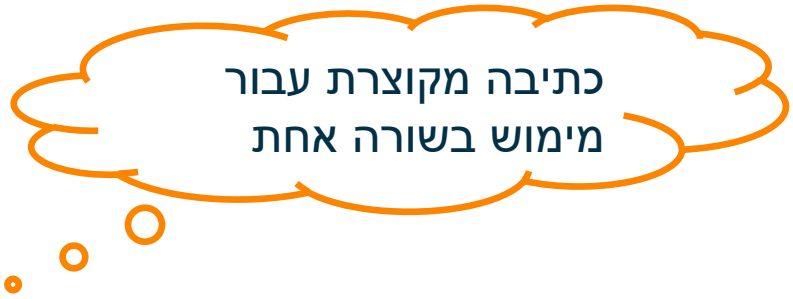

```
Collections.sort(beatles,
            (String x, String y)-> {
                return Integer.compare(x.length(), y.length());
                });
```

מנשקים פונקציונליים

- הסקת טיפוסי הארגומנטים נעשית פה בצורה אוטומטית:
- אנחנו מציינים רשימה של מחרוזות, לכן ה Comparator חייב להשוות מחרוזות, והטיפוסים של x,y מוסקים בזמן הקומפילציה.

```
Collections.sort(beatles,
            (x, y)-> {
                return Integer.compare(x.length(), y.length());
                });
```






```
Collections.sort(beatles,
            (x, y)-> Integer.compare(x.length(), y.length())
        );
```

מנשקים פונקציונליים

- אנוטציה (annotation) יעודית המבטיחה שהמנשק מגדיר בדיוק פונקציה אבטסטרקטית אחת

```
@FunctionalInterface
public interface I1{
	public void func1(int x);
}
```

רפרנסים למתודות

- רפרנס למתודה סטטית:

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(5,1,2,4,3);
ints.sort(Integer::compare);
```


```
ints.sort((x,y)->Integer.compare(x, y));
```

- רפרנס למתודת מופע:

```
List<String> strings = Arrays.asList("aa", "Ab", "BA", "Bb");
strings.sort(String::compareToIgnoreCase);
```


```
strings.sort((x,y)->x.compareToIgnoreCase(y));
```

דוגמאות נוספות: https://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/javaOO/methodreferences.html

דוגמה מהחיים האמיתיים

```
public class Tree{
        Node root;

        public int sumLeftValues(){ ??? }

        public int sumRightValues(){ ??? }
}
```

```
public class Node{
        public Node left;
        public Node right;
        public int value;


        public Node(int value, Node left, Node right){
                this.left = left;
                this.right = right;
                this.value = value;
        }

        public Node getLeft(){ return this.left; }

        public Node getRight(){ return this.right;}

        public int getValue(){ return this.value; }
}
```

פתרון 1

```
public class Tree{
     Node root;
     public int sumLeftValues(){
          int sum = 0;
          Node node = this.root;
          while(node != null){
               sum += node.getValue();
               node = node.getLeft();
          }
          return sum;
     }

     public int sumRightValues(){
          int sum = 0;
          Node node = this.root;
          while(node != null){
               sum += node.getValue();
               node = node.getRight();
          }
          return sum;
     }
}
```

שכפול קוד!!!!!

פתרון 2

```
private int sumValues(boolean isLeft){
     int sum = 0;
     Node node = this.root;
     while(node != null){
          sum += node.getValue();
          if (isLeft){
               node = node.getLeft();
          }
          else{
               node = node.getRight();
          }
     }
     return sum;

}

public int sumLeftValues(){ return sumValues(true); }

public int sumRightValues(){ return sumValues(false); }
```

מימוש זה טוב יותר מהמימוש המקורי (אין שכפול קוד), אבל זה עדין לא פתרון מספיק טוב.

1. מה היינו עושים אם היו 4 צמתים שיוצאים מכל צומת?
2. מה אם המימוש של sumValue היה מורכב יותר, והיה מצריך פיצול ביותר מפעולה אחת?

פתרון 3

```
private int sumValues(func){
     int sum = 0;
     Node node = this.root;
     while(node != null){
          sum += node.getValue();
          node = func(node)
     }
     return sum;

}

public int sumLeftValues(){
     return sumValues(lambda node: node.left());
}

public int sumRightValues(){
      return sumValues(lambda node: node.right());
}
```

היינו רוצים לשלוח ל sumVal פונקציה שמחלצת את הצומת הרלוונטי מה Node. למשל משהו כזה, אם היינו מערבבים גם פייתון:

וב Java נוכל להשתמש במנשק פונקציונלי!

דוגמה מהחיים האמיתיים

- מה היינו עושים אם הקוד המשותף היה מביל שורות באלה:

```
public void handleLeft(Node node){
    /* shared code */
    doSomethingWith(node.left());
    /* shared code */
    doSomethingElseWith(node.right());
    /* shared code */
}
```

```
public void handleRight(Node node){
    /* shared code */
    doSomethingWith(node.right());
    /* shared code */
    doSomethingElseWith(node.left());
    /* shared code */
}
```

- במקרה הזה אפשר היה להגדיר מנשק (לא פונקציונלי) עם שתי פונקציות:
getFirstChild, getSecondChild ואת המנשק הזה לממש עבור Left ועבור Right בצורה הפוכה.

דוגמה מהחיים האמיתיים

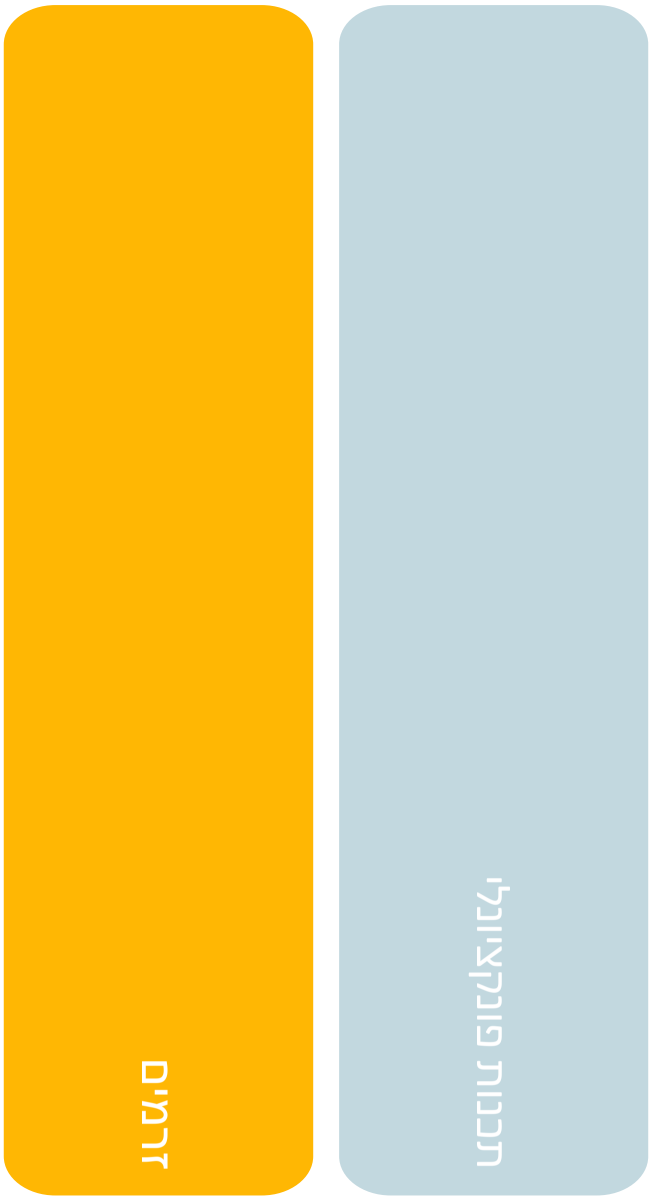
- אופציה פחות טובה, אבל עדיפה על שכפול קוד:

```
public void handle(Node node, Boolean isLeft){
     Node firstChild, secondChild;
     if (isLeft){
          firstChild = node.left();
          secondChild = node.right();
     }
     else{
          firstChild = node.right();
          secondChild = node.left();
     }
     /* shared code */
     doSomethingWith(firstChild);
     /* shared code */
     doSomethingElseWith(secondChild);
     /* shared code */
}
```

```
public void handleLeft(Node node){
     handle(node, true);
}
```

```
public void handleRight(Node node){
     handle(node, false);
}
```

התוכנית להיום



זרמים

- זרם – סדרה מופשטת של אלמנטים התומכים בביצוע פעולות צבירה (aggregation), באופן סדרתי או מקבילי.
- בקורס נדבר על ביצוע פעולות סדרתי.

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
ints.stream().map(x->x*x)
             .filter(x->(x%2 == 0))
               .forEach(System.out::println);
```

שקול

```
.forEach(x->System.out.println(x));
```

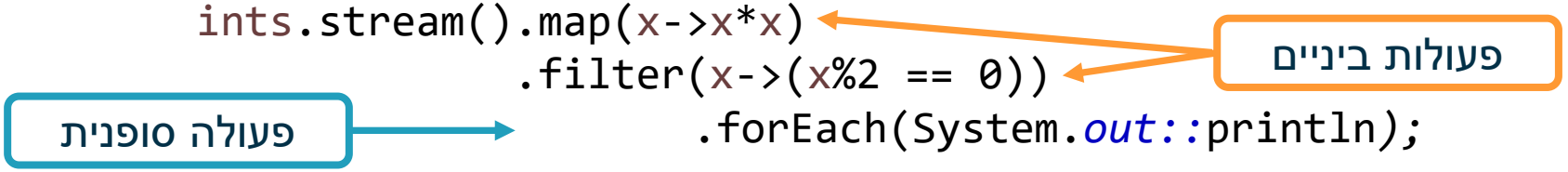
output:
4
16

מה יודפס בהרצת הקוד?

זרמים

- ניתן לחלק את הפעולות על זרמים לשתי קבוצות:
  - פעולות ביניים (intermediate). פעולות אלה מופעלות על זרמים ומחזירות זרם, כך שניתן לשרשר אותן אחת לשניה.
  - פעולות סופניות (terminal). פעולות אלה יופיעו בסוף שרשרת פעולות על זרם, כלומר, לא ניתן לשרשר אחריהן פעולות נוספות על אותו הזרם.

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
ints.stream().map(x->x*x)
             .filter(x->(x%2 == 0))
                   .forEach(System.out::println);
```

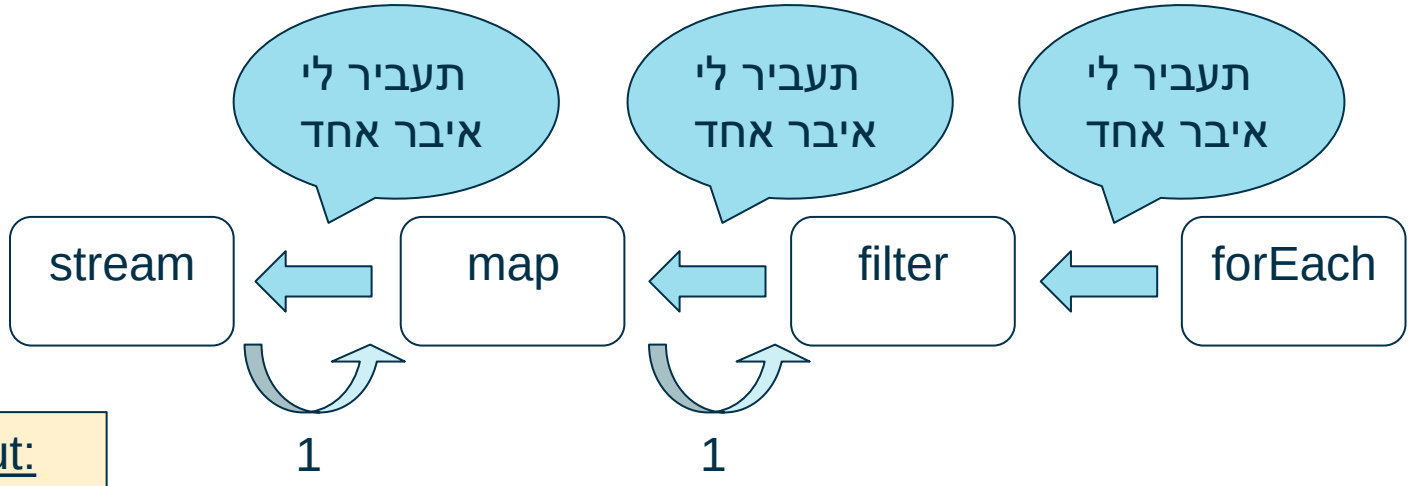


עצלנות סופנית

- זרמים הם עצלנים – כל זמן שלא **צורכים** איברים של הזרם, לא קורה כלום.
- מי **צורך** איברים של הזרם? שירותים סופניים. הפעלת שירות סופני בעצם גורמת לזרם לייצר את האיברים שלו.

אז איך זה בעצם עובד?

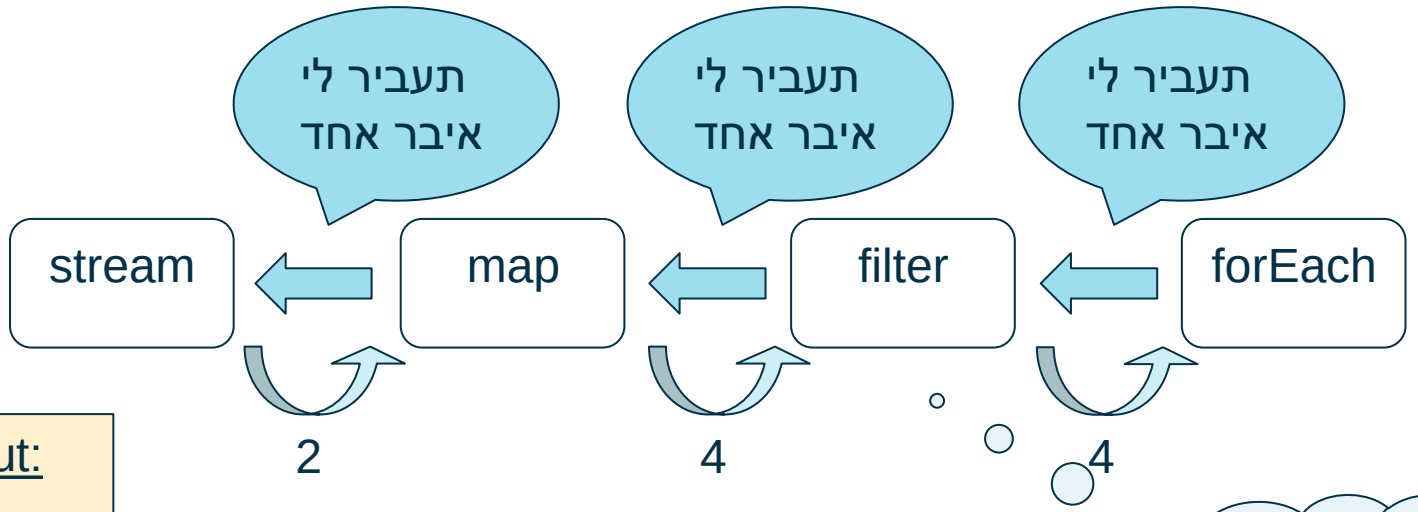
```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
ints.stream().map(x->x*x)
             .filter(x->(x%2 == 0))
                    .forEach(System.out::println);
```



Output:

אז איך זה בעצם עובד?

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
ints.stream().map(x->x*x)
             .filter(x->(x%2 == 0))
                    .forEach(System.out::println);
```



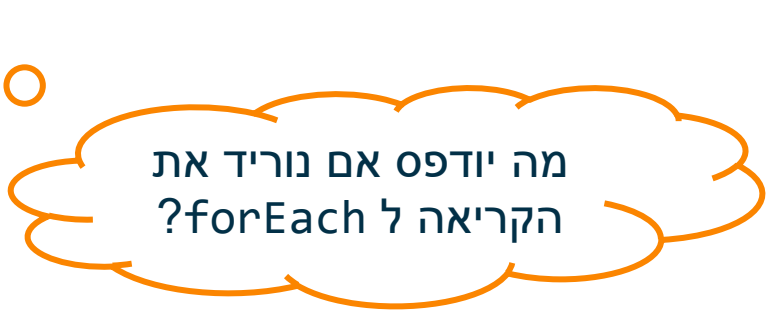
Output:
4

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
ints.stream().map(x->{
                        System.out.println("mapping " + x);
                        return x*x;
                        })
                .filter(x->{
                        System.out.println("filtering: " + x);
                        return x>10;
                        })
                .forEach(x->{
                        System.out.println("terminating: " + x);
                        });
```

output:

```
mapping 1
filtering: 1
mapping 2
filtering: 4
mapping 3
filtering: 9
mapping 4
filtering: 16
terminating: 16
mapping 5
filtering: 25
terminating: 25
```

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
ints.stream().map(x->{
                        System.out.println("mapping " + x);
                        return x*x;
                        })
                 .filter(x->{
                        System.out.println("filtering: " + x);
                        return x>10;
                        })
                .forEach(x->{
                        System.out.println("terminating: " + x);
                       });
```



פעולות נוספות על זרמים

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
boolean res = ints.stream()
              .map(x->""+x)
              .skip(2)
              .anyMatch(x-> x.equals("1"));
```

שינוי טיפוסי האיברים בזרם מ Integer ל String

דילוג על שני האיברים הראשונים בזרם

האם לפחות אחת המחרוזות בזרם היא המחרוזת "1"?

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
boolean res = ints.stream()
              .limit(1)
              .allMatch(x-> x ==1));
```

מגבילים את מספר האיברים בזרם ל 1

האם כל האיברים בזרם שווים ל 1?

הפעולות noneMatch, allMatch, anyMatch הן פעולות סופניות, כמו forEach.
בניגוד ל forEach, הן מחזירות ערך בוליאני.

```
public static int comparesCounter;
public static void main(String[] args) {
        List<Integer> ints = Arrays.asList(5,4,3,2,1,6);
        ints.stream()
                .filter(x->x%2==0)
                .peek(x->{System.out.println("peek " + x);})
                .sorted((x,y)->{
                        comparesCounter++;
                        System.out.println("comparing: " + x + "," + y);
                        return Integer.compare(x, y);
                        })
                .forEach(System.out::println);
        System.out.println("num of compares: " + comparesCounter);
}
```

output:
peek 4
peek 2
peek 6
comparing: 2,4
comparing: 6,2
comparing: 6,4
2
4
6
num of compares: 3

הפעולה peek מחזירה את הזרם עליו היא מופעלת, ובנוסף, מפעילה על כל איברי הזרם את הפעולה שקיבלה כפרמטר.

הפעולה sorted אינה פעולה שגרתית. על מנת לבצע אותה, יש לאסוף את כל אברי הזרם עליו היא מופעלת!

מה ישתנה אם נבצע את פעולת ה filter אחרי פעולת ה sort?

תכונות של פעולות על זרמים

- כאשר מפעילים פונקציות על זרמים באמצעות פקודות כמו map, peek וכדומה, צריכות להיות להן שתי תכונות:
  - *non-interfering* – אסור לפעולות לשנות את האוסף עליו מופעל הזרם (הוספת/הורדת אובייקטים).
  - *stateless* – חסרות תופעות לוואי. תוצאת הפעולות צריכה להיות תלויה באיבר הזרם עליו היא מופעלת, ולא במצב של שדה/משתנה אחר.

Optional<T>

(לא קשור לזרמים, אבל שימושי)

- השימוש ב Optional מאפשר לנו לבטא באופן אחיד מצב שבו הפונקציה לא מחזירה ערך.
  - ללא שימוש ב Optional היינו צריכים להחזיר ערך ברירת מחדל כלשהו, למשל null או מחרוזת ריקה. הלקוח היה צריך לדעת שיתכן מצב שבו לא יחזור ערך, ולכתוב קוד המטפל בערך ברירת המחדל שנקבע בפונקציה.

- החזרת ערך אופציונלי:

```
public static Optional<String> findStringOfLenK(
                                        List<String> strings, int k){
     for (String s: strings){
          if (s.length() == k){
               return Optional.of(s);
          }
     }
     return Optional.empty();
}
```

Optional<T>

- שימוש בערך האופציונלי:

```
List<String> lst = Arrays.asList("John","Paul","George","Ringo");

Optional<String> strOfLen6 = findStringOfLenK(lst, 6);
if (strOfLen6.isPresent()){
        System.out.println(strOfLen6.get());
}

strOfLen6.ifPresent(System.out::println);

Optional<String> strOfLen3 = findStringOfLenK(lst, 3);
System.out.println(strOfLen3.orElse("no-value"));
```

output:
George
George
no-value

לקריאה נוספת: https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/Optional.html

פעולת reduce

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(1,2,3,4,5);
Optional<Integer> product = ints.stream()
                                .reduce((x,y)->x*y);
Optional<Integer> sumOfSquares = ints.stream()
                                .map(x->x*x)
                                .reduce((x,y)->x+y);
```

- הפעולה reduce היא פעולה סופנית המחזירה ערך אופציונלי.
  - אם הזרם ריק, reduce אינה מחזירה ערך (כלומר, מחזירה ערך אופציונלי ריק)
  - אחרת, reduce מחזירה תוצאה של צבירת כל האיברים בזרם באמצעות הפונקציה אותה היא מקבלת כפרמטר.
    - אם הזרם מכיל איבר יחיד, פעולת ה reduce תחזיר את האיבר הזה.
- הפרמטר ש reduce מקבלת הוא מטיפוס BinaryOperator<T>
  - קיימת העמסה לפונקציה reduce עם פרמטרים נוספים.

הצבת טיפוסים גנריים בירושה/מימוש

- המנשק BinaryOperator הוא מנשק פונקציונלי. את הפונקציה האבסטרקטית שלו apply הוא יורש מהמנשק BiFunction:

```
@FunctionalInterface
public interface BinaryOperator<T>
extends BiFunction<T,T,T>
```

המנשק BiFunction מגדיר שלושה פרמטרים גנריים (T,U,R), בעוד שהמנשק BinaryOperator מגדיר פרמטר גנרי אחד בלבד.
לכן, BinaryOperator נדרש לבצע הצבה לתוך הפרמטרים T,U,R של BiFunction. הוא מציב בשלושתם את ערכו של T, הפרמטר הגנרי שלו.
<u>המשמעות:</u> הפונק' apply של BinaryOperator מופעלת על שני איברים מאותו הטיפוס ומחזירה את אותו הטיפוס.

```
@FunctionalInterface
public interface BiFunction<T,U,R>
```

Represents a function that accepts two arguments and produces a result.

This is a functional interface whose functional method is apply(Object, Object).

Method Summary

All Methods	Instance Methods	Abstract Methods	Default Methods

Modifier and Type	Method and Description
R	apply(T t, U u) Applies this function to the given arguments.

יצירת זרם (אינסופי)

- המנשק Supplier<T> מתאר זרמים של איברים מטיפוס T

```
@FunctionalInterface
public interface Supplier<T>
```

Method Summary

All Methods	Instance Methods	Abstract Methods

Modifier and Type	Method and Description
T	get() Gets a result.

- מימוש לדוגמא של המנשק:

```
public class NaturalNumbers implements Supplier<Integer>{
	private int i;
	@Override
	public Integer get() {
		return ++i;
	}
}
```

יצירת זרם (אינסופי)

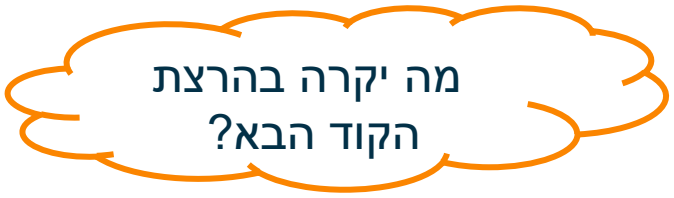
- שימוש בזרם האינסופי

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
s.limit(5).reduce((x,y)->Math.max(x,y))
                          .ifPresent(System.out::println);
```

output:
5

ifPresent מופעל על
Optional שחוזר מ reduce

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
s.map(x->x+1).forEach(System.out::println);
```



יצירת זרם (אינסופי)

- מבין המספרים המתחלקים ב 7, האם קיים מספר המתחלק ב 10?

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
System.out.println(s.filter(x-> x % 7 == 0)
                            .anyMatch(x-> x % 10==0));
```

output:
true

- מבין המספרים המתחלקים ב 7 והקטנים מ 70, האם קיים מספר המתחלק ב 10?

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
System.out.println(s.filter(x-> x % 7 == 0)
                    .filter(x-> x < 70)
                    .anyMatch(x-> x % 10==0));
```

מה יקרה בהרצת הקוד הבא?

איסוף

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
List<Integer> ints = s.limit(5)
                      .map(x->x*x)
                      .collect(Collectors.toList());
System.out.println(ints);
```

Output:
[1, 4, 9, 16, 25]

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
Double d = s.limit(5).collect(Collectors.averagingDouble(x->x*x));
System.out.println(d);
```

Output:
11.0

הפונקציה averageingDouble מפעילה את
הפונקציה שמתקבלת כפרמטר על איברי הזרם
ומחשבת את הממוצע שלהם

איסוף מתקדם

```
Stream<Integer> s = Stream.generate(new NaturalNumbers());
Map<Boolean, List<Integer>> partition = s.limit(5)
                  .map(x->x*x)
                  .collect(Collectors.partitioningBy(x->x>10));
System.out.println(partition);
```

output:
{false=[1, 4, 9], true=[16, 25]}

```
List<String> beatles = Arrays.asList("John", "Paul","George","Ringo");
Map<Integer, List<String>> groups = beatles.stream()
                           .collect(Collectors.groupingBy(x->x.length()));
System.out.println(groups);
```

output:
{4=[John, Paul], 5=[Ringo], 6=[George]}