

Laboratorium 4.

0) Przygotowanie środowiska

W konsoli/terminalu wpisujemy kolejno

```
$ cd
$ mkdir haskell-lab4
$ cd haskell-lab4

# sprawdzamy dostępność narzędzia stack
$ which stack
$ stack --version
```

1) Typy w Haskellu: *type* vs. *newtype*

1. W konsoli GHCi wpisujemy kolejno

```
ghci> type t1 = Int
ghci> type T1 = Int
ghci> type T2 = (T1,Double)
ghci> type T3 = (a,a)
ghci> type T4 a = (a,a,a)
ghci> type T5 a = [a]
ghci> type T6 a b = [[a],[b]]
ghci> type T7 a b = a -> b
ghci> type T8 a b = a -> (a -> b) -> Int
ghci> type T9 a = (a, T9 a)
ghci> type T10 = (Int, T10)
```

2. W pliku ex1.hs wpisujemy

```
polarToCartesian :: Floating a => (a,a) -> (a,a)
polarToCartesian (r,phi) = (r * cos phi, r * sin phi)
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi) i sprawdzamy działanie funkcji `polarToCartesian`

```
ghci> :t polarToCartesian
ghci> let (x1,y1) = polarToCartesian (1,pi/4)
ghci> let (x2,y2) = polarToCartesian (x1,y1) -- !!!
ghci> polarToCartesian . polarToCartesian $ (1,pi/4) -- !!!
```

3. W pliku ex1.hs dodajemy

```

type CartesianCoord' a = (a,a)
type PolarCoord' a = (a,a)

polarToCartesian' :: Floating a => PolarCoord' a -> CartesianCoord' a
polarToCartesian' (r,phi) = (r * cos phi, r * sin phi)

```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi) i sprawdzamy działanie funkcji `polarToCartesian'`

```

ghci> :t polarToCartesian'
ghci> let (x1,y1) = polarToCartesian' (1,pi/4)
ghci> let (x2,y2) = polarToCartesian' (x1,y1) -- !!!
ghci> polarToCartesian' . polarToCartesian' $ (1,pi/4) -- !!!

```

Co zyskaliśmy wprowadzając aliasy/synonimy typów?

4. W pliku `ex1.hs` dodajemy

```

newtype CartesianCoord'' a = MkCartesianCoord'' (a,a)
newtype PolarCoord'' a = MkPolarCoord'' (a,a)

polarToCartesian'' :: Floating a => PolarCoord'' a -> CartesianCoord'' a
polarToCartesian'' (MkPolarCoord'' (r,phi)) = MkCartesianCoord'' (r * cos phi, r * sin

```

5. Zadania:

1. Sprawdzić działanie funkcji `polarToCartesian''` dla poprawnych i niepoprawnych danych wejściowych; rozważyć zalety i wady powyższych trzech implementacji
2. (*opcjonalne*) Napisać odpowiedniki powyższych typów i funkcji dla układów: cylindrycznego i sferycznego
3. (*opcjonalne*) Sprawdzić działanie funkcji

```

personInfoToString :: (String,String,String) -> String
personInfoToString (nm,snm,addr) =
  "name: " ++ nm ++ ", surname: " ++ snm ++ ", addr: " ++ addr

```

np. dla następujących danych wejściowych

```

ghci> personInfoToString ("Michail", "Berlioz", "ul. Sadowa 302a, m.50")
ghci> personInfoToString ("ul. Sadowa 302a, m.50", "Stiopa", "Lichodiejew")

```

4. (*opcjonalne*) Dodać aliasy

```

type Name' = String
type Surname' = String
type Address' = String

```

```
type PersonInfo' = (Name', Surname', Address')
type PersonInfoToStringType' = PersonInfo' -> String
```

oraz napisać i sprawdzić działanie funkcji

```
personInfoToString' :: PersonInfoToStringType'
```

5. (*opcjonalne*) Wykorzystując `newtype` napisać funkcję

```
personInfoToString'' :: PersonInfo'' -> String
personInfoToString'' ... =
```

która będzie bardziej 'odporna' na błędne dane wejściowe; sprawdzić działanie funkcji

2) Algebraiczne typy danych 1: product & sum types, record syntax

1. W pliku `ex2.hs` wpisujemy

```
-- product type example (one constructor)
data CartInt2DVec = MkCartInt2DVec Int Int -- konwencja: prefix 'Mk' dla konstruktora

xCoord :: CartInt2DVec -> Int
xCoord (MkCartInt2DVec x _) = x

yCoord :: CartInt2DVec -> Int
yCoord (MkCartInt2DVec _ y) = y
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli GHCi wpisujemy kolejno

```
ghci> :i CartInt2DVec
ghci> :t CartInt2DVec
ghci> :t MkCartInt2DVec -- analizujemy typ konstruktora

ghci> let p12 = CartInt2DVec 1 2
ghci> let p12 = MkCartInt2DVec 1 2

ghci> :t xCoord -- analizujemy typ xCoord
ghci> xCoord p12
ghci> :t yCoord -- analizujemy typ yCoord
ghci> yCoord p12
ghci> xCoord $ MkCartInt2DVec 5 10
```

Co dałoby wprowadzenie w deklaracji `CartInt2DVec` aliasów/synonimów

```
type X = Int
type Y = Int
```

2. W pliku ex2.hs dodajemy

```
data Cart2DVec' a = MkCart2DVec' a a

xCoord' :: Cart2DVec' a -> a
xCoord' (MkCart2DVec' x _) = x

yCoord' :: Cart2DVec' a -> a
yCoord' (MkCart2DVec' _ y) = y
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi :r); w konsoli GHCi wpisujemy kolejno

```
ghci> :i Cart2DVec'
ghci> :t MkCart2DVec'

ghci> :t MkCart2DVec' 1 2
ghci> :t MkCart2DVec' 1.0 2.0
ghci> :t MkCart2DVec' 1.0 2
ghci> :t xCoord' $ MkCart2DVec' 5 10
ghci> :t yCoord' $ MkCart2DVec' 5.0 10.0
```

3. W pliku ex2.hs dodajemy

```
data Cart2DVec'' a = MkCart2DVec'' {x::a, y::a}

xCoord'' :: Cart2DVec'' a -> a
xCoord'' (MkCart2DVec'' {x = xVal, y = _}) = xVal

yCoord'' :: Cart2DVec'' a -> a
yCoord'' (MkCart2DVec'' {y = yVal, x = _}) = yVal -- uwaga na kolejność x,y
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi :r); w konsoli GHCi wpisujemy kolejno

```
ghci> :i Cart2DVec''
ghci> :t MkCart2DVec''
ghci> :t xCoord''
ghci> :t yCoord''
ghci> :t x -- dlaczego ta funkcja istnieje (skoro jej nie deklarowaliśmy/definiowaliśmy
ghci> :t y -- jw.?

ghci> let p23 = MkCart2DVec'' {x = 2, y = 3}
ghci> xCoord'' p23
```

```
ghci> x p23
ghci> yCoord'' p23
ghci> y p23

ghci> xCoord'' $ MkCart2DVec'' {x=1, y=2}
ghci> xCoord'' $ MkCart2DVec'' 1 2
ghci> yCoord'' $ MkCart2DVec'' {x=1, y=2}
ghci> yCoord'' $ MkCart2DVec'' 1 2
```

4. W pliku ex2.hs usuwamy deklaracje/definicje `xCoord''` i `yCoord''` pozostawiając tylko

```
data Cart2DVec'' a = MkCart2DVec'' {x::a, y::a}
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli GHCi wpisujemy kolejno

```
ghci> :i Cart2DVec''
ghci> :t MkCart2DVec''
ghci> :t x
ghci> :t y

ghci> let p23 = MkCart2DVec'' {x = 2, y = 3}
ghci> x p23
ghci> y p23
```

5. W pliku ex2.hs dodajemy

```
-- sum type example (two constructors)
data List a = EmptyL | Cons a (List a) deriving Show

head' :: List a -> a
head' EmptyL      = error "head': the empty list has no head!"
head' (Cons x xs) = x
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli GHCi wpisujemy kolejno

```
ghci> head' EmptyL
ghci> head' Cons 1
ghci> head' (Cons 1 EmptyL)
ghci> head' $ Cons 1 EmptyL
ghci> Cons 1 EmptyL -- show in action :)
ghci> head' $ Cons 1 $ Cons 2 EmptyL
```

6. W pliku ex2.hs dodajemy

```
-- enum type example (special case of sum type)
data ThreeColors = Blue |
                  White |
                  Red

type ActorName = String

leadingActor :: ThreeColors -> ActorName
leadingActor Blue  = "Juliette Binoche"
leadingActor White = "Zbigniew Zamachowski"
leadingActor Red   = "Irene Jacob"
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi) i sprawdzamy działanie funkcji `leadingActor`

7. Zadania:

1. Zdefiniować funkcje dostępne np. `xCoord3D` itd. dla następującego typu (reprezentacja wektorów w 3D, współrzędne kartezjańskie)

```
{-
uwaga: ta sama nazwa* dla:
  - konstruktora typu (po lewej)
  - konstruktora danych/wartości (po prawej)

* druga (obok omówionej poprzednio -- z prefiksem 'Mk') powszechna konwencja w Ha
-}
Cart3DVec a = Cart3DVec a a a
```

a następnie sprawdzić ich działanie

2. Wykorzystując *record syntax* napisać nową wersję `Cart3DVec`, a następnie sprawdzić istnienie odpowiednich (wygenerowanych przez kompilator) funkcji dostępowych
3. (*opcjonalne*) Zdefiniować odpowiednie wersje typów (bez i z *record syntax*) dla wektorów 2D w układzie biegunowym
4. (*opcjonalne*) Dla obu powyższych typów zdefiniować funkcję `polarToCartesian`
5. (*opcjonalne*) Napisać odpowiedniki powyższych typów i funkcji dla układów: cylindrycznego i sferycznego
6. Zdefiniować funkcję

```
area :: Shape -> Float
```

obliczającą pole powierzchni (figury płaskiej); założyć, że

```
data Shape = Circle Float |
            Rectangle Float Float
```

7. (opcjonalne) Zdefiniować funkcję

```
rootValue :: Tree a -> a
```

zwracającą element przechowywany w korzeniu drzewa binarnego zdefiniowanego w następujący sposób

```
data Tree a = EmptyT |  
             Node a (Tree a) (Tree a)  
             deriving Show
```

Uwaga: dla pustego drzewa funkcja powinna zgłaszać błąd (funkcja `error`)

8. Zdefiniować typ wyliczeniowy `TrafficLights` dla sygnalizacji świetlnej oraz funkcję

```
actionFor :: TrafficLights -> String
```

podającą, co powinien robić kierowca, widząc dane światło

9. (opcjonalne) Zdefiniować typ wyliczeniowy dla 'akcji' z poprzedniego zadania (działanie kierowcy w danej sytuacji)

3) Algebraiczne typy danych 2: rekursja strukturalna

1. W pliku `ex3.hs` wpisujemy

```
data BinIntTree = EmptyIntBT |  
                 IntNodeBT Int BinIntTree BinIntTree  
  
sumBinIntTree :: BinIntTree -> Int  
sumBinIntTree EmptyIntBT = 0  
sumBinIntTree (IntNodeBT n lt rt) = n + sumBinIntTree lt + sumBinIntTree rt
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi) i sprawdzamy działanie funkcji `sumBinIntTree` , np.

```
ghci> sumBinIntTree EmptyIntBT  
ghci> sumBinIntTree $ IntNodeBT 1 EmptyIntBT EmptyIntBT  
ghci> sumBinIntTree $ IntNodeBT 1 (IntNodeBT 2 EmptyIntBT EmptyIntBT) (IntNodeBT 3 Empt
```

2. W pliku `ex3.hs` dodajemy (uogólniamy typ)

```
data BinTree a = EmptyBT |  
               NodeBT a (BinTree a) (BinTree a)
```

```
sumBinTree :: (Num a) => BinTree a -> a
sumBinTree EmptyBT = 0
sumBinTree (NodeBT n lt rt) = n + sumBinTree lt + sumBinTree rt
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi) i sprawdzamy działanie funkcji `sumBinTree`, np.

```
ghci> sumBinTree EmptyBT
ghci> sumBinTree $ NodeBT 1 EmptyBT EmptyBT
ghci> sumBinTree (NodeBT 1 (NodeBT 2 EmptyBT EmptyBT) (NodeBT 3 EmptyBT EmptyBT))
```

3. W pliku `ex3.hs` dodajemy

```
data Expr a = Lit a | -- literal/value a, e.g. Lit 2 = 2
             Add (Expr a) (Expr a)

eval :: Num a => Expr a -> a
eval (Lit n) = n
eval (Add e1 e2) = eval e1 + eval e2

show' :: Show a => Expr a -> String
show' (Lit n) = show n
show' (Add e1 e2) = "(" ++ show' e1 ++ "+" ++ show' e2 ++ ")"
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi) i sprawdzamy działanie funkcji `show'` i `eval`, np.

```
ghci> show' (Lit 2)
ghci> show' (Add (Lit 1) (Lit 2))
ghci> eval (Lit 1)
ghci> eval (Add (Lit 1) (Lit 2))
```

4. Zadania:

1. Napisać definicje następujących funkcji:

```
depthOfBT :: BinTree a -> Int -- głębokość drzewa binarnego
flattenBT :: BinTree a -> [a] -- napisać trzy wersje: preorder, inorder, postorder
mapBT :: (a -> b) -> BinTree a -> BinTree b -- funkcja map dla drzewa binarnego
insert :: Ord a => a -> BinTree a -> BinTree a -- insert element into BinTree
list2BST :: Ord a => [a] -> BinTree a -- list to Binary Search Tree (BST)
```

2. (opcjonalne) Napisać definicje następujących funkcji:

```
occurs :: Eq a => a -> BinTree a -> Int -- liczba wystąpień elementu w drzewie binarnym
```



```
elemOf :: Eq a => a -> BinTree a -> Bool -- sprawdzenie, czy element znajduje się
reflect :: BinTree a -> BinTree a -- 'odbicie lustrzane' drzewa binarnego
minElemOf :: Ord a => BinTree a -> a
maxElemOf :: Ord a => BinTree a -> a
foldBinTree :: (a -> b -> b -> b) -> b -> BinTree a -> b -- fold dla drzewa binarnego
```

3. (opcjonalne) Zdefiniować `mapBT` przy pomocy `foldBinTree`
4. (opcjonalne) Zaproponować implementację funkcji `zipBT` (`zip` dla drzew binarnych)
5. (opcjonalne) Uogólnić typ `BinTree` do

```
data GTree a = Leaf a |
              GNode [GTree a]
              deriving Show
```

oraz napisać odpowiednie wersje następujących funkcji:

```
sumGTree :: Num a => GTree a -> a
elemOfGTree :: Eq a => a -> GTree a -> Bool
depthOfGTree :: GTree a -> Int
mapGTree :: (a -> b) -> GTree a -> GTree b
flattenGTree :: GTree a -> [a]
countGTreeLeaves :: GTree a -> Int
```

6. Rozszerzyć definicję typu `data Expr a` o operacje odejmowania i mnożenia oraz zmodyfikować odpowiednio funkcje `show'` i `eval`
7. (opcjonalne) Zmodyfikować definicję `data Expr a` wykorzystując 'infixowe konstruktory' (uwaga: pierwszym znakiem nazwy musi być w tej notacji ':')

```
data Expr a = Lit a |
              Expr a :+: Expr a |
              Expr a :-: Expr a |
              ...
```

oraz odpowiednio zmienić funkcje `eval` i `show'`

8. (opcjonalne) Rozszerzyć możliwości 'kalkulatora' o operacje logiczne, np. w następujący sposób:

```
data Expr a = Lit a |
              Op Ops (Expr a) (Expr a) |
              If (BExpr a) (Expr a) (Expr a)

data Ops = Add | Sub | Mul

data BExpr a = BoolLit Bool |
```

```

    And (BExpr a) (BExpr a) |
    Or (BExpr a) (BExpr a) |
    Not (BExpr a) |
    Equal (Expr a) (Expr a) |
    Greater (Expr a) (Expr a)

eval :: Num a => Expr a -> a
eval (Lit n) = n
eval (Op Add e1 e2) = eval e1 + eval e2
...

bEval :: BExpr a -> Bool
bEval (BoolLit b) = b
...

```

4) Typy wyższego rzędu (ćwiczenie opcjonalne)

1. W konsoli GHCi wpisujemy kolejno (i analizujemy wyniki):

```

ghci> data A0 = MkA0 Int
ghci> :t MkA0 -- typ konstruktora danych (wartości)
ghci> :k A0

ghci> data A1 a = MkA1 a -- A1 - konstruktor typu
ghci> :t MkA1
ghci> :k A1 -- typ/'kind' konstruktora typu

ghci> data A2Prod a b = MkA2Prod a b
ghci> :t MkA2Prod
ghci> :k A2Prod

ghci> data A2Sum a b = A2SumA a | A2SumAB a b
ghci> :t A2SumA -- typ pierwszego ('lewego') konstruktora danych
ghci> :t A2SumAB -- typ drugiego ('prawego') konstruktora danych
ghci> :k A2Sum

ghci> :k A1 Double
ghci> :k A2Prod Int -- 'partial application' of the type constructor
ghci> :k A2Prod Int Bool

```

2. W konsoli GHCi wpisujemy kolejno (i analizujemy wyniki):

```

ghci> :i Maybe
ghci> :k Maybe
ghci> :k Maybe Int

```

```
ghci> :i Either
ghci> :k Either
ghci> :k Either Int
ghci> :k Either Int Double

ghci> :i []
ghci> :k []
ghci> :k [Int]
```

5) Klasy typów i ich instancje 1: dołączanie typu do istniejącej klasy

1. W pliku ex5.hs wpisujemy

```
data MyInt = MkMyInt Int
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> MkMyInt 1 == MkMyInt 1
```

2. W pliku ex5.hs dodajemy

```
instance Eq MyInt where
  (==) (MkMyInt i1) (MkMyInt i2) = i1 == i2
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> MkMyInt 1 == MkMyInt 1
ghci> MkMyInt 1 == MkMyInt 2
ghci> MkMyInt 1 /= MkMyInt 2 -- dlaczego nie pojawia się błąd?

ghci> MkMyInt 1 < MkMyInt 2
```

3. W pliku ex5.hs dodajemy

```
instance Ord MyInt where
  (<=) (MkMyInt i1) (MkMyInt i2) = i1 <= i2
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> MkMyInt 1 <= MkMyInt 2
ghci> MkMyInt 1 < MkMyInt 2 -- dlaczego nie pojawia się błąd?
ghci> MkMyInt 1 > MkMyInt 2 -- jw.?
ghci> MkMyInt 1 >= MkMyInt 2 -- jw.?

ghci> :i Ord -- analizujemy fragment '{-# MINIMAL compare | (<=) #-}'
```

```
ghci> MkMyInt 1 + MkMyInt 2
ghci> :i Num -- analizujemy fragment '{-# MINIMAL ... #-}'
```

4. W pliku ex5.hs dodajemy

```
instance Num MyInt where
  (+) (MkMyInt i1) (MkMyInt i2) = MkMyInt (i1 + i2)
  (-) (MkMyInt i1) (MkMyInt i2) = MkMyInt (i1 - i2)
  (*) (MkMyInt i1) (MkMyInt i2) = MkMyInt (i1 * i2)
  negate (MkMyInt i)           = MkMyInt (negate i)
  abs (MkMyInt i)              = MkMyInt (abs i)
  signum (MkMyInt i)           = MkMyInt (signum i)
  fromInteger int              = MkMyInt (fromIntegral int)
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> MkMyInt 1 + MkMyInt 2

ghci> MkMyInt 1
ghci> :i Show -- analizujemy fragment '{-# MINIMAL ... #-}'
```

5. W pliku ex5.hs dodajemy

```
instance Show MyInt where
  show (MkMyInt i) = "MkMyInt " ++ show i
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> MkMyInt 1 + MkMyInt 2
ghci> MkMyInt 5
ghci> (MkMyInt 2) * (MkMyInt 3 + MkMyInt 4)

ghci> MkMyInt 1 `div` MkMyInt 2
ghci> (MkMyInt 5) ^ 2
```

6. **Zadania:**

1. Zmienić definicję

```
data MyInt = MkMyInt Int
```

na

```
newtype MyInt = MkMyInt Int
```

- i porównać działanie z poprzednim wariantem (tj. z `data MyInt`)
- 2. Dołączyć `BinTree a` do klasy `Eq` (deklaracja `instance Eq a => Eq (BinTree a) where`)
- 3. (opcjonalne) Dołączyć `Cart3DVec a` do klas `Eq` i `Num`
- 4. (opcjonalne) Dołączyć typ (reprezentujący liczby wymierne)

```
data Fraction a = Fraction {num::a, denom::a} -- num - numerator, denom - denominator
```

do klas `Show` , `Eq` , `Ord` i `Num` ; sprawdzić poprawność implementacji

- 5. (opcjonalne) Zaproponować implementację operatora `<` dla `Cart3DVec a` ; sprawdzić, czy kompilator może wygenerować automatycznie (jakakolwiek) implementację operatora `<`
- 6. (opcjonalne) Powtórzyć kroki wykonane dla `MyInt` dla typu `data MyDouble` ; sprawdzić, instancje których klas kompilator może wygenerować automatycznie (przy pomocy klauzuli `deriving`)
- 7. (opcjonalne) Sprawdzić działanie operatora `<` dla `list`, a następnie zdefiniować własną wersję (wskazówka: można wykorzystać typ opakowujący stworzony przy pomocy `newtype`)
- 8. (opcjonalne) Zaproponować kilka wariantów implementacji operatora `<` dla drzew binarnych `BinTree a` ; sprawdzić implementację wygenerowaną przez kompilator (przy pomocy klauzuli `deriving`)

6) Klasy typów i ich instancje 2: tworzenie własnych klas typów (ćwiczenie opcjonalne)

- 1. W pliku `ex6.hs` wpisujemy

```
class Mappable t where
  fMap :: (a -> b) -> t a -> t b

data Vec3D a = Vec3D {x::a, y::a, z::a} deriving Show

instance Mappable Vec3D where
  fMap f (Vec3D x y z) = Vec3D (f x) (f y) (f z)
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> fMap id (Vec3D 1 2 3)
ghci> fMap (+1) (Vec3D 1 2 3)
ghci> fMap (const 1) (Vec3D 1 2 3)
ghci> fMap sqrt (Vec3D 1 2 3)
ghci> fMap abs (Vec3D (-1) (-2) 3)
```

- 2. W pliku `ex6.hs` dodajemy

```
newtype Pair a = Pair (a,a) deriving Show
```

```
instance Mappable Pair where
  fMap f (Pair (x,y)) = Pair (f x, f y)
```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi); w konsoli wpisujemy

```
ghci> fMap (+1) $ Pair (1,2)
ghci> fMap (length) $ Pair ([1..5], [1..100])
ghci> fMap ($! 3) $ Pair ((^2), (^3))
ghci> fMap ($ 2) $ fMap ((.) (\x -> x + 10)) $ Pair ((^2), (^3))
```

3. Zadania:

1. Dodać typ

```
data BinTree a = EmptyBT |
               NodeBT a (BinTree a) (BinTree a)
               deriving Show
```

do klasy `Mappable` ; sprawdzić działanie `fMap` dla kilku drzew

2. Dołączyć `Maybe` do klasy `Mappable` (deklaracja `instance Mappable Maybe`)
3. Dołączyć `Either` do klasy `Mappable` (uwaga na liczbę parametrów typu)
4. Uzupełnić definicję

```
instance Mappable ((->) a) where
  fMap f g = ____
```

5. Zdefiniować klasę

```
class VectorLike t where
  (|==|) :: Eq a => t a -> t a -> Bool
  (|+|), (|-|) :: (Num a) => t a -> t a -> t a
  (|*|) :: (Num a) => t a -> t a -> a
  (||?), (|-?) :: (Num a, Eq a) => t a -> t a -> Bool -- równoległość i prostopadłość
  vectLength :: Floating a => t a -> a
  unitVectOf :: Floating a => t a -> t a
```

a następnie jej instancje dla `Vec2D` i `Vec3D` (tj. dodać te typy do klasy `VectorLike`)

7) Moduły i importy

1. W pliku `ex7.hs` wpisujemy

```
module Stack (Stack(MkStack), empty, isEmpty, push, top, pop) where

empty :: Stack a
```

```

isEmpty :: Stack a -> Bool
push :: a -> Stack a -> Stack a
top :: Stack a -> a
pop :: Stack a -> (a, Stack a)

newtype Stack a = MkStack [a] deriving Show

empty = MkStack []
isEmpty (MkStack s) = null s
push x (MkStack s) = MkStack (x:s)
top (MkStack s) = head s
pop (MkStack (s:ss)) = (s, MkStack ss)

```

(zapisujemy zmiany, wczytujemy plik do GHCi)

2. W konsoli wpisujemy

```

ghci> :l ex7.hs
ghci> :module -Stack
ghci> import Stack
ghci> :i Stack.[naciskamy TAB]
ghci> :t pop

```

3. W konsoli wpisujemy

```

ghci> :module -Stack
ghci> import Stack ()
ghci> :i Stack.[naciskamy TAB]
ghci> :t pop

```

4. W konsoli wpisujemy

```

ghci> :module -Stack
ghci> import Stack (push, pop)
ghci> :i Stack.[naciskamy TAB]
ghci> :t pop

```

5. W konsoli wpisujemy

```

ghci> :module -Stack
ghci> import qualified Stack
ghci> :i Stack.[naciskamy TAB]
ghci> :t pop
ghci> :t Stack.pop

```

6. Zadania:

1. Sprawdzić działanie następujących wariantów importu

```
ghci> :module -Stack
ghci> import qualified Stack (push, pop)

ghci> :module -Stack
ghci> import Stack hiding (push, pop)

ghci> :module -Stack
ghci> import qualified Stack hiding (push, pop)

ghci> :module -Stack
ghci> import Stack as S

ghci> :module -Stack
ghci> import Stack as S (push, pop)

ghci> :module -Stack
ghci> import qualified Stack as S

ghci> :module -Stack
ghci> import qualified Stack as S (push, pop)
```

2. Zmodyfikować pierwszą linię (zapisać zmiany) pliku ex7.hs

```
module Stack (Stack(..), isEmpty, push, pop) where
```

i sprawdzić działanie

```
ghci> :l ex7.hs
ghci> :module -Stack
ghci> import Stack
ghci> :i Stack
ghci> :t MkStack
ghci> :i push
ghci> :i isEmpty
```

3. Zmodyfikować pierwszą linię (zapisać zmiany) pliku ex7.hs

```
module Stack (Stack, push, pop) where
```

i sprawdzić działanie


```
ghci> :l ex7.hs
ghci> :module -Stack
ghci> import Stack
ghci> :i Stack
ghci> :t MkStack
```

4. Zmodyfikować pierwszą linię (zapisać zmiany) pliku ex7.hs

```
module Stack (module Stack) where
```

wczytać plik do GHCi (potem `:module -Stack , import Stack`) i sprawdzić działanie

8) Moduły jako mechanizm definicji abstrakcyjnych typów danych (ADT)

1. W pliku ex8.hs wpisujemy

```
module Stack
( Stack
, empty  -- :: Stack a
, isEmpty -- :: Stack a -> Bool
, push   -- :: a -> Stack a -> Stack a
, top    -- :: Stack a -> a
, pop    -- :: Stack a -> (a, Stack a)
) where

-- interface (signature, contract)
empty :: Stack a
isEmpty :: Stack a -> Bool
push :: a -> Stack a -> Stack a
top :: Stack a -> a
pop :: Stack a -> (a, Stack a)

-- implementation
newtype Stack a = MkStack [a] deriving Show -- hidden constructor (see the module export)

empty = MkStack []
isEmpty (MkStack s) = null s
push x (MkStack s) = MkStack (x:s)
top (MkStack s) = head s
pop (MkStack (s:ss)) = (s, MkStack ss)
```

(zapisujemy zmiany)

2. W konsoli wpisujemy

```
ghci> :l ex8.hs
ghci> :module -Stack
ghci> import Stack
ghci> empty
ghci> push 1 $ empty
ghci> pop $ push 1 $ empty
```

3. Zadania:

1. (*opcjonalne*) Zaimplementować następujący ADT dla kolejki

```
module Queue
( Queue
, emptyQ    -- :: Queue a
, isEmptyQ  -- :: Queue a -> Bool
, addQ      -- :: a -> Queue a -> Queue a
, remQ      -- :: Queue a -> (a, Queue a)
)

```

Jaka jest złożoność czasowa poszczególnych operacji? Rozważyć możliwe optymalizacje

2. (*opcjonalne*) Zaimplementować następujący ADT dla kolejki dwukierunkowej

```
module Dequeue
( Dequeue
, emptyDEQ    -- :: Dequeue a
, isEmptyDEQ  -- :: Dequeue a -> Bool
, lengthDEQ   -- :: Dequeue a -> Int, O(1)
, firstDEQ    -- :: Dequeue a -> Maybe a, O(1)
, lastDEQ     -- :: Dequeue a -> Maybe a, O(1)
, takeFrontDEQ -- :: Int -> Dequeue a -> [a], O(n)
, takeBackDEQ -- :: Int -> Dequeue a -> [a], O(n)
, pushFrontDEQ -- :: Dequeue a -> a -> Dequeue a, O(1) amortised
, popFrontDEQ  -- :: Dequeue a -> Maybe (a, Dequeue a), O(1) amortised
, pushBackDEQ  -- :: Dequeue a -> a -> Dequeue a, O(1) amortised
, popBackDEQ   -- :: Dequeue a -> Maybe (a, q a), O(1) amortised
, fromListDEQ  -- :: [a] -> Dequeue a, O(n)
)

```

9) Organizacja kodu źródłowego: narzędzie `stack` (*ćwiczenie opcjonalne*)

1. W konsoli (terminalu) wpisujemy kolejno

```
$ stack new my-project
$ cd my-project
$ stack setup
$ tree .
```

2. Analizujemy strukturę projektu
3. (opcjonalne) W edytorze *Atom* otwieramy katalog `my-project`
4. Sprawdzamy zawartość plików: `app/Main.hs` , `src/Lib.hs` , `test/Spec.hs` i `Setup.hs`
5. Analizujemy zawartość plików `my-project.cabal` i `stack.yaml`
6. W konsoli wpisujemy kolejno

```
$ stack build
$ stack exec my-project-exe
$ stack test
```

7. **Zadania:**

1. Zapoznać się z biblioteką *QuickCheck*
2. Zapoznać się z frameworkiem *HUnit*
3. Napisać kilka prostych testów z wykorzystaniem obu tych narzędzi (np. dla implementacji stosu lub kolejki; można ten kod przenieść do utworzonego w tym punkcie projektu)