

# DD1351 Logik för dataloger

## Laboration 3: Modellprovning för CTL

Simon Moradbakti & Nipun Thianwan

Hösten 2024

### Introduktion

I denna laboration utvecklas och testas en modellprovare för temporallogiken CTL (Computational Tree Logic). En modellprovare är ett kraftfullt verktyg inom datavetenskap som möjliggör formell verifiering av system genom att kontrollera om en given logisk formel gäller i ett specifikt tillstånd i en modell. Målet med laborationen är att bygga ett verktyg genom att implementera en modellprovare i Prolog som följer reglerna för ett angivet bevissystem. Vidare ska systembeteende modelleras genom att skapa en realistisk modell av ett system med datalogisk relevans. Slutligen analyseras och verifieras beteendeegenskaper hos modellen genom att tillämpa CTL-formler. Laborationen syftar till att ge en djupare förståelse för modellering och verifiering av systemegenskaper samt att utveckla färdigheter inom logikprogrammering med Prolog.

### Algorithm för Beviskontroll

En algoritm för beviskontroll är mycket viktig för den här uppgiften och kan beskrivas genom funktionerna i det Prolog programmet som gör upp algoritmen för beviskontroll. CTL-bevis som kan verifieras av programmet är ofta strukturerade som en samling listor. En lista består av olika typer av tillstånd och deras ”grann-tillstånd”, och en annan lista kan specificera vilka egenskaper som gäller för varje tillstånd. Denna beviskontrollen som har implementerats kan använda många olika predikat för att försöka lösa frågeställningar, men den generellt rekursiv. Programmet fungerar som sådant att den arbetar sig igenom beviset steg för steg, medan programmet söker efter den nödvändiga informationen som specificeras av varje formel.

Programmet börjar med ett enkelt initialiserings-predikat, som är `verify`, som bara läser in filen och delar upp innehållet i olika termer:

1. Transactions (tillståndens grann-lista)
2. Labeling (egenskaperna för tillstånd)
3. InitialState ( nuvarande tillstånd)
4. Formula (formeln som ska verifieras).

Därefter anropas predikatet "evaluate", som startar själva beviskontrollen.

## Kontroll av beviset

För litteraler kontrolleras om de ingår i märkningen av det aktuella tillståndet. Temporallogiska operatorer som **AX** och **EX** hanteras genom att iterera över efterföljande tillstånd. Exempelvis kontrollerar **AX** att formeln gäller i alla efterföljare, medan **EX** endast kräver att den gäller i minst en efterföljare. Globala operatorer som **AG** och **EG** säkerställer att formeln gäller på alla respektive minst en väg från det aktuella tillståndet. För **AF** och **EF** analyseras om formeln någon gång blir sann längs alla respektive någon väg. En besökt-lista används för att hantera slingor, vilket förhindrar oändliga rekursioner. Återbesök av ett tillstånd tolkas som framgång för **AG** och **EG** men misslyckande för **AF** och **EF**. Algoritmen är implementerad rekursivt och säkerställer att varje tillstånd utvärderas noggrant mot formeln. Om alla delar av formeln kan verifieras från det initiala tillståndet returnerar programmet att formeln gäller i modellen. Annars identifieras var beviset bröt samman. Denna strategi följer noggrant de regler som specificeras i bevissystemet och säkerställer en korrekt utvärdering av CTL-formler i modellen.

## Modellen

Modellen är baserad på ett bankkontosystem. Det finns 3 stycken olika tillstånd, s0 då användaren är inte inloggad och har ingen tillgång till sitt konto. s1 då användaren är inloggad men har inte tillgång till att göra några transaktioner. s2 då användaren är inloggad och har tillgång till att göra insättningar och uttag.

Det finns även övergångar mellan dem olika tillstånden. Från s0 kan användaren bara gå till s1. Från s1 kan användaren gå till s2. Från s2 kan användaren bara gå tillbaka till s1. Modellen kan beskrivas som följande:

```
[[s0, [s1]],
 [s1, [s0, s2]],
 [s2, [s1]]].

[[s0, []],
 [s1, [p]],      // p = login
 [s2, [p, q]]    // p = login, q = allowed transactions
].
```

Modellen testades sedan med hjälp av prologkoden för att avgöra om användaren kan göra transaktioner alls ( $\text{ef}(q)$ ) från det inloggade tillståndet utan transaktionstillgång ( $s1$ ), och om användaren kan göra transaktioner medan de är inloggade och har transaktionstillgång ( $\text{ef}(\text{and}(p, q))$ ).

## Våra prolog bevis

### Invalid

```
[[ s0 , [ s1 ]] ,  
 [ s1 , [ s0 , s2 ]] ,  
 [ s2 , [ s1 ]]] .  
[[ s0 , []] ,  
 [ s1 , [ p ]] , % p = login  
 [ s2 , [ p ]]] . % Endast p = login, q saknas  
s0 .  
ef(q) .
```

### Valid

```
[[ s0 , [ s1 ]] ,  
 [ s1 , [ s0 , s2 ]] ,  
 [ s2 , [ s1 ]]] .  
[[ s0 , []] ,  
 [ s1 , [ p ]] , % p = login  
 [ s2 , [ p , q ]]] . % p = login, q = allowed transactions  
s0 .  
ef(q) .
```

Modellen följer samtliga givna bevis från instruktionerna:

$$\begin{array}{c}
p \frac{-}{\mathcal{M}, s \vdash [] p} p \in L(s) \qquad \neg p \frac{-}{\mathcal{M}, s \vdash [] \neg p} p \notin L(s) \\
\wedge \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi \quad \mathcal{M}, s \vdash [] \psi}{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi \wedge \psi} \\
\vee_1 \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi}{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi \vee \psi} \qquad \vee_2 \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \psi}{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi \vee \psi} \\
\text{AX} \frac{\mathcal{M}, s_1 \vdash [] \phi \quad \dots \quad \mathcal{M}, s_n \vdash [] \phi}{\mathcal{M}, s \vdash [] \text{AX } \phi} \\
\text{AG}_1 \frac{-}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{AG } \phi} s \in U \qquad \text{AF}_1 \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{AF } \phi} s \notin U \\
\text{AG}_2 \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi \quad \mathcal{M}, s_1 \vdash_{U,s} \text{AG } \phi \quad \dots \quad \mathcal{M}, s_n \vdash_{U,s} \text{AG } \phi}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{AG } \phi} s \notin U \\
\text{AF}_2 \frac{\mathcal{M}, s_1 \vdash_{U,s} \text{AF } \phi \quad \dots \quad \mathcal{M}, s_n \vdash_{U,s} \text{AF } \phi}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{AF } \phi} s \notin U \\
\text{EX} \frac{\mathcal{M}, s' \vdash [] \phi}{\mathcal{M}, s \vdash [] \text{EX } \phi} \qquad \text{EG}_1 \frac{-}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{EG } \phi} s \in U \\
\text{EG}_2 \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi \quad \mathcal{M}, s' \vdash_{U,s} \text{EG } \phi}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{EG } \phi} s \notin U \\
\text{EF}_1 \frac{\mathcal{M}, s \vdash [] \phi}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{EF } \phi} s \notin U \qquad \text{EF}_2 \frac{\mathcal{M}, s' \vdash_{U,s} \text{EF } \phi}{\mathcal{M}, s \vdash_U \text{EF } \phi} s \notin U
\end{array}$$

Figure 1: formlerna som formaliserar beteendeegenskaperna

## Predikat listan och dess sanningstabell

Predikatnamn	Beskrivning	Sann när	Falsk när
verify/1	Startar beviskontrollen genom att läsa in modellen och formeln från en fil.	Alla indata är korrekt formaterade och formeln verifieras.	Indata saknas, är felaktiga eller formeln inte verifieras.
evaluate/5	Utvärderar en CTL-formel för ett tillstånd i modellen.	Formeln håller i det aktuella tillståndet.	Formeln inte håller i det aktuella tillståndet.
evaluate_all_next/4	Kontrollerar att en formel gäller för alla efterföljande tillstånd (AX).	Alla efterföljande tillstånd uppfyller formeln.	Minst ett efterföljande tillstånd bryter formeln.
evaluate_exists_next/4	Kontrollerar att en formel gäller för minst ett efterföljande tillstånd (EX).	Minst ett efterföljande tillstånd uppfyller formeln.	Inget efterföljande tillstånd uppfyller formeln.
evaluate_all_globally/5	Kontrollerar att en formel gäller längs alla vägar från ett tillstånd (AG).	Formeln gäller globalt längs alla möjliga vägar.	Formeln bryts längs minst en väg.
evaluate_exists_globally/5	Kontrollerar att en formel gäller längs minst en väg från ett tillstånd (EG).	Formeln gäller längs minst en väg.	Formeln bryts längs alla vägar.
evaluate_all_finally/5	Kontrollerar att en formel gäller någon gång längs alla vägar (AF).	Formeln uppfylls någon gång längs alla vägar.	Det finns en väg där formeln aldrig uppfylls.
evaluate_exists_finally/5	Kontrollerar att en formel gäller någon gång längs minst en väg (EF).	Formeln uppfylls längs minst en väg.	Det finns ingen väg där formeln uppfylls.

Table 1: Predikat och deras egenskaper

## Appendix A - Prolog kod

```
% Uncomment the following line for SICStus Prolog if needed:
% :- use_module(library(lists)).

:- disjointness evaluate/5.

% Reads model, initial state, and formula from a file.
verify(Input) :-
    see(Input),
    read(Transitions),
    read(Labeling),
    read(InitialState),
    read(Formula),
    seen,
    evaluate(Transitions, Labeling, InitialState, [],
            Formula).

% evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, Formula)
% Arguments:
% Transitions - Adjacency lists representing the transitions
% Labeling    - Labeling of the states.
% State       - Current state under evaluation.
% Visited     - States visited so far.
% Formula     - CTL formula to evaluate.

% Evaluates to true if the sequent below holds:
% (Transitions, Labeling), State      Formula
% Visited

% ***** Literal Evaluation *****
evaluate(_, Labeling, State, [], Literal) :-
    member([State, Labels], Labeling),
    member(Literal, Labels).

% ***** Negation *****
evaluate(Transitions, Labeling, State, [], neg(Formula)) :-
    \+ evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula).

% ***** Conjunction *****
evaluate(Transitions, Labeling, State, [], and(Formula1,
        Formula2)) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula1),
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula2).

% ***** Disjunction *****
```

```

evaluate(Transitions, Labeling, State, [], or(Formula1,
Formula2)) :-
    (evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula1) ;
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula2)).

% ***** AX (All Next) *****
evaluate(Transitions, Labeling, State, [], ax(Formula)) :-
    member([State, NextStates], Transitions),
    evaluate_all_next(Transitions, Labeling, NextStates,
        Formula).

evaluate_all_next(Transitions, Labeling, [LastState],
    Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, LastState, [], Formula).

evaluate_all_next(Transitions, Labeling, [State|MoreStates],
    Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula),
    evaluate_all_next(Transitions, Labeling, MoreStates,
        Formula).

% ***** EX (Exists Next) *****
evaluate(Transitions, Labeling, State, [], ex(Formula)) :-
    member([State, NextStates], Transitions),
    evaluate_exists_next(Transitions, Labeling, NextStates,
        Formula).

evaluate_exists_next(Transitions, Labeling, [LastState],
    Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, LastState, [], Formula).

evaluate_exists_next(Transitions, Labeling, [State|
    MoreStates], Formula) :-
    (evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula) ;
    evaluate_exists_next(Transitions, Labeling, MoreStates,
        Formula)).

% ***** AG (Always Globally) *****
evaluate(_, _, State, Visited, ag(_)) :-
    member(State, Visited).

evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, ag(Formula))
    :-
    \+ member(State, Visited),
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula),
    member([State, NextStates], Transitions),
    evaluate_all_globally(Transitions, Labeling, NextStates,
        [State|Visited], Formula).

```

```

evaluate_all_globally(Transitions, Labeling, [LastState],
    Visited, Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, LastState, Visited, ag(
        Formula)).

evaluate_all_globally(Transitions, Labeling, [State|
    MoreStates], Visited, Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, ag(
        Formula)),
    evaluate_all_globally(Transitions, Labeling, MoreStates,
        Visited, Formula).

% ***** EG (Exists Globally) *****
evaluate(_, _, State, Visited, eg(_)) :-
    member(State, Visited).

evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, eg(Formula))
    :-
    \+ member(State, Visited),
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula),
    member([State, NextStates], Transitions),
    evaluate_exists_globally(Transitions, Labeling,
        NextStates, [State|Visited], Formula).

evaluate_exists_globally(Transitions, Labeling, [LastState],
    Visited, Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, LastState, Visited, eg(
        Formula)).

evaluate_exists_globally(Transitions, Labeling, [State|
    MoreStates], Visited, Formula) :-
    (evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, eg(
        Formula)) ;
    evaluate_exists_globally(Transitions, Labeling,
        MoreStates, Visited, Formula)).

% ***** AF (Always Finally) *****
evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, af(Formula))
    :-
    \+ member(State, Visited),
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula).

evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, af(Formula))
    :-
    \+ member(State, Visited),
    member([State, NextStates], Transitions),
    evaluate_all_finally(Transitions, Labeling, NextStates,
        [State|Visited], Formula).

```



```

evaluate_all_finally(Transitions, Labeling, [LastState],
    Visited, Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, LastState, Visited, af(
        Formula)).

evaluate_all_finally(Transitions, Labeling, [State|
    MoreStates], Visited, Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, af(
        Formula)),
    evaluate_all_finally(Transitions, Labeling, MoreStates,
        Visited, Formula).

% ***** EF (Exists Finally) *****
evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, ef(Formula))
    :-
    \+ member(State, Visited),
    evaluate(Transitions, Labeling, State, [], Formula).

evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, ef(Formula))
    :-
    \+ member(State, Visited),
    member([State, NextStates], Transitions),
    evaluate_exists_finally(Transitions, Labeling,
        NextStates, [State|Visited], Formula).

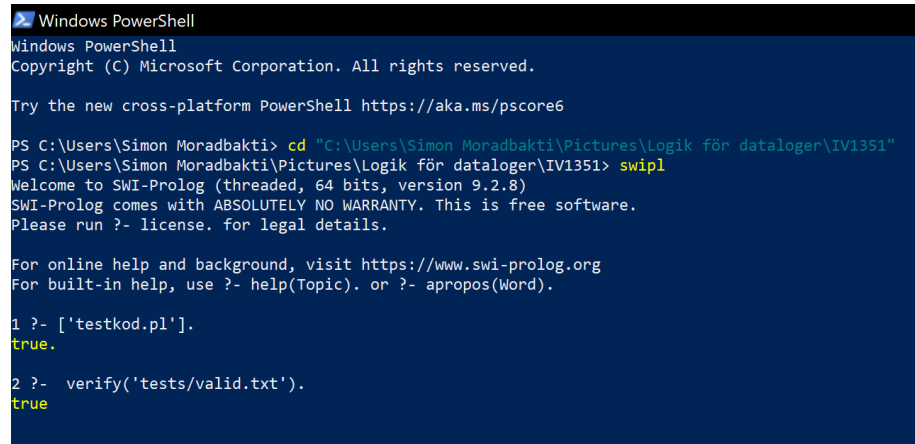
evaluate_exists_finally(Transitions, Labeling, [LastState],
    Visited, Formula) :-
    evaluate(Transitions, Labeling, LastState, Visited, ef(
        Formula)).

evaluate_exists_finally(Transitions, Labeling, [State|
    MoreStates], Visited, Formula) :-
    (evaluate(Transitions, Labeling, State, Visited, ef(
        Formula)) ;
    evaluate_exists_finally(Transitions, Labeling,
        MoreStates, Visited, Formula)).

```

## Appendix B - Prologbevis Output

### Valid.txt



```
Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\Simon Moradbakti> cd "C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\Logik för dataloger\IV1351"
PS C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\Logik för dataloger\IV1351> swipl
Welcome to SWI-Prolog (threated, 64 bits, version 9.2.8)
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software.
Please run ?- license. for legal details.

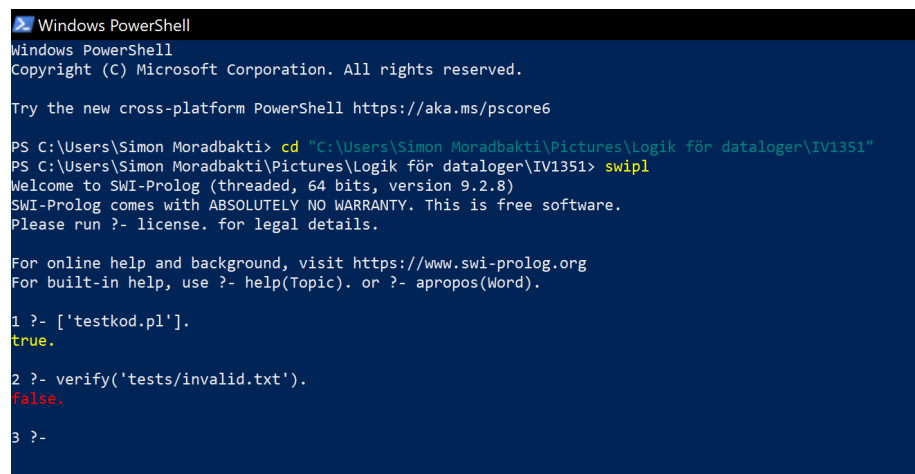
For online help and background, visit https://www.swi-prolog.org
For built-in help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).

1 ?- ['testkod.pl'].
true.

2 ?- verify('tests/valid.txt').
true
```

Figure 2: Output Valid

### Invalid.txt



```
Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\Simon Moradbakti> cd "C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\Logik för dataloger\IV1351"
PS C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\Logik för dataloger\IV1351> swipl
Welcome to SWI-Prolog (threated, 64 bits, version 9.2.8)
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software.
Please run ?- license. for legal details.

For online help and background, visit https://www.swi-prolog.org
For built-in help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).

1 ?- ['testkod.pl'].
true.

2 ?- verify('tests/invalid.txt').
false.

3 ?-
```

Figure 3: Output invalid

## Körning av alla bevis från uppgiften

```
Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\Simon Moradbakti> cd "C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\logik för dataloger\IV1351"
PS C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\logik för dataloger\IV1351> cd tests
PS C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\logik för dataloger\IV1351\tests> swipl
Welcome to SWI-Prolog (threaded, 64 bits, version 9.2.8)
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software.
Please run ?- license. for legal details.

For online help and background, visit https://www.swi-prolog.org
For built-in help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).

1 ?- ['run_all_tests'].
true.

2 ?- run_all_tests('..\testkod.pl').
valid000.txt passed
valid001.txt passed
valid002.txt passed
valid004.txt passed
valid005.txt passed
valid006.txt passed
valid011.txt passed
valid012.txt passed
valid014.txt passed
valid016.txt passed
valid018.txt passed
valid022.txt passed
valid023.txt passed
valid024.txt passed
valid031.txt passed
valid032.txt passed
valid035.txt passed
valid036.txt passed
valid037.txt passed
valid038.txt passed
valid042.txt passed
valid043.txt passed
valid053.txt passed
valid054.txt passed
valid056.txt passed
valid060.txt passed
valid061.txt passed
```

```
valid061.txt passed
valid063.txt passed
valid065.txt passed
valid068.txt passed
valid070.txt passed
valid073.txt passed
valid079.txt passed
valid081.txt passed
valid085.txt passed
valid086.txt passed
valid087.txt passed
valid093.txt passed
valid098.txt passed
valid099.txt passed
valid102.txt passed
valid107.txt passed
valid112.txt passed
valid117.txt passed
valid121.txt passed
valid124.txt passed
valid133.txt passed
valid136.txt passed
valid137.txt passed
valid145.txt passed
valid146.txt passed
valid147.txt passed
valid151.txt passed
valid153.txt passed
valid157.txt passed
valid161.txt passed
valid163.txt passed
valid173.txt passed
valid175.txt passed
valid176.txt passed
valid181.txt passed
valid182.txt passed
valid186.txt passed
valid187.txt passed
valid188.txt passed
valid190.txt passed
valid192.txt passed
valid193.txt passed
valid199.txt passed
valid201.txt passed
valid203.txt passed
valid215.txt passed
```

```
valid215.txt passed
valid218.txt passed
valid219.txt passed
valid220.txt passed
valid224.txt passed
valid225.txt passed
valid226.txt passed
valid229.txt passed
valid232.txt passed
valid233.txt passed
valid242.txt passed
valid245.txt passed
valid249.txt passed
valid255.txt passed
valid259.txt passed
valid263.txt passed
valid265.txt passed
valid269.txt passed
valid271.txt passed
valid274.txt passed
valid275.txt passed
valid276.txt passed
valid279.txt passed
valid280.txt passed
valid281.txt passed
valid289.txt passed
valid290.txt passed
valid301.txt passed
valid304.txt passed
valid305.txt passed
valid314.txt passed
valid322.txt passed
valid327.txt passed
valid346.txt passed
valid348.txt passed
valid351.txt passed
valid355.txt passed
valid356.txt passed
valid360.txt passed
valid364.txt passed
valid366.txt passed
valid380.txt passed
valid381.txt passed
valid389.txt passed
valid391.txt passed
valid393.txt passed
```

```
valid393.txt passed
valid394.txt passed
valid397.txt passed
valid398.txt passed
valid400.txt passed
valid403.txt passed
valid407.txt passed
valid409.txt passed
valid410.txt passed
valid411.txt passed
valid417.txt passed
valid420.txt passed
valid421.txt passed
valid426.txt passed
valid438.txt passed
valid441.txt passed
valid443.txt passed
valid447.txt passed
valid451.txt passed
valid453.txt passed
valid455.txt passed
valid459.txt passed
valid460.txt passed
valid465.txt passed
valid468.txt passed
valid474.txt passed
valid479.txt passed
valid493.txt passed
valid506.txt passed
valid515.txt passed
valid516.txt passed
valid518.txt passed
valid519.txt passed
valid521.txt passed
valid523.txt passed
valid530.txt passed
valid541.txt passed
valid550.txt passed
valid552.txt passed
valid553.txt passed
valid559.txt passed
valid578.txt passed
valid585.txt passed
valid586.txt passed
valid588.txt passed
valid592.txt passed
```

```
valid592.txt passed
valid593.txt passed
valid594.txt passed
valid597.txt passed
valid598.txt passed
valid599.txt passed
valid609.txt passed
valid621.txt passed
valid627.txt passed
valid628.txt passed
valid631.txt passed
valid635.txt passed
valid640.txt passed
valid648.txt passed
valid650.txt passed
valid652.txt passed
valid653.txt passed
valid661.txt passed
valid664.txt passed
valid666.txt passed
valid667.txt passed
valid668.txt passed
valid670.txt passed
valid673.txt passed
valid675.txt passed
valid686.txt passed
valid687.txt passed
valid689.txt passed
valid699.txt passed
valid703.txt passed
valid706.txt passed
valid710.txt passed
valid715.txt passed
valid721.txt passed
valid728.txt passed
valid738.txt passed
valid747.txt passed
valid753.txt passed
valid756.txt passed
valid768.txt passed
valid785.txt passed
valid792.txt passed
valid797.txt passed
valid800.txt passed
valid806.txt passed
valid811.txt passed
```

```
valid811.txt passed
valid814.txt passed
valid823.txt passed
valid826.txt passed
valid832.txt passed
valid833.txt passed
valid835.txt passed
valid836.txt passed
valid839.txt passed
valid840.txt passed
valid842.txt passed
valid843.txt passed
valid849.txt passed
valid852.txt passed
valid855.txt passed
valid859.txt passed
valid862.txt passed
valid865.txt passed
valid872.txt passed
valid873.txt passed
valid874.txt passed
valid882.txt passed
valid883.txt passed
valid887.txt passed
valid888.txt passed
valid896.txt passed
valid903.txt passed
valid905.txt passed
valid910.txt passed
valid911.txt passed
valid912.txt passed
valid914.txt passed
valid917.txt passed
valid934.txt passed
valid939.txt passed
valid951.txt passed
valid953.txt passed
valid968.txt passed
valid986.txt passed
valid987.txt passed
valid999.txt passed
invalid007.txt passed
invalid009.txt passed
invalid013.txt passed
invalid015.txt passed
invalid017.txt passed
```

```
invalid017.txt passed
invalid019.txt passed
invalid020.txt passed
invalid025.txt passed
invalid026.txt passed
invalid027.txt passed
invalid028.txt passed
invalid029.txt passed
invalid030.txt passed
invalid039.txt passed
invalid041.txt passed
invalid044.txt passed
invalid045.txt passed
invalid048.txt passed
invalid050.txt passed
invalid051.txt passed
invalid055.txt passed
invalid064.txt passed
invalid067.txt passed
invalid071.txt passed
invalid074.txt passed
invalid078.txt passed
invalid082.txt passed
invalid089.txt passed
invalid090.txt passed
invalid091.txt passed
invalid096.txt passed
invalid097.txt passed
invalid101.txt passed
invalid104.txt passed
invalid105.txt passed
invalid106.txt passed
invalid110.txt passed
invalid111.txt passed
invalid113.txt passed
invalid114.txt passed
invalid115.txt passed
invalid118.txt passed
invalid120.txt passed
invalid122.txt passed
invalid123.txt passed
invalid125.txt passed
invalid126.txt passed
invalid128.txt passed
invalid129.txt passed
invalid131.txt passed
```

```
invalid131.txt passed
invalid132.txt passed
invalid134.txt passed
invalid139.txt passed
invalid140.txt passed
invalid141.txt passed
invalid142.txt passed
invalid143.txt passed
invalid144.txt passed
invalid148.txt passed
invalid149.txt passed
invalid150.txt passed
invalid152.txt passed
invalid154.txt passed
invalid156.txt passed
invalid158.txt passed
invalid160.txt passed
invalid165.txt passed
invalid166.txt passed
invalid168.txt passed
invalid169.txt passed
invalid171.txt passed
invalid172.txt passed
invalid174.txt passed
invalid178.txt passed
invalid180.txt passed
invalid183.txt passed
invalid184.txt passed
invalid189.txt passed
invalid191.txt passed
invalid194.txt passed
invalid195.txt passed
invalid196.txt passed
invalid197.txt passed
invalid202.txt passed
invalid205.txt passed
invalid206.txt passed
invalid207.txt passed
invalid208.txt passed
invalid209.txt passed
invalid210.txt passed
invalid211.txt passed
invalid213.txt passed
invalid214.txt passed
invalid216.txt passed
invalid217.txt passed
```

```
invalid217.txt passed
invalid221.txt passed
invalid223.txt passed
invalid228.txt passed
invalid230.txt passed
invalid231.txt passed
invalid234.txt passed
invalid237.txt passed
invalid238.txt passed
invalid239.txt passed
invalid241.txt passed
invalid244.txt passed
invalid246.txt passed
invalid247.txt passed
invalid248.txt passed
invalid250.txt passed
invalid251.txt passed
invalid252.txt passed
invalid253.txt passed
invalid254.txt passed
invalid256.txt passed
invalid257.txt passed
invalid258.txt passed
invalid260.txt passed
invalid262.txt passed
invalid264.txt passed
invalid266.txt passed
invalid268.txt passed
invalid270.txt passed
invalid273.txt passed
invalid277.txt passed
invalid283.txt passed
invalid285.txt passed
invalid286.txt passed
invalid288.txt passed
invalid291.txt passed
invalid292.txt passed
invalid293.txt passed
invalid294.txt passed
invalid295.txt passed
invalid296.txt passed
invalid297.txt passed
invalid302.txt passed
invalid303.txt passed
invalid307.txt passed
invalid309.txt passed
```

```
invalid309.txt passed
invalid310.txt passed
invalid313.txt passed
invalid315.txt passed
invalid316.txt passed
invalid317.txt passed
invalid318.txt passed
invalid319.txt passed
invalid320.txt passed
invalid321.txt passed
invalid323.txt passed
invalid325.txt passed
invalid326.txt passed
invalid328.txt passed
invalid329.txt passed
invalid330.txt passed
invalid331.txt passed
invalid332.txt passed
invalid333.txt passed
invalid334.txt passed
invalid335.txt passed
invalid336.txt passed
invalid339.txt passed
invalid340.txt passed
invalid342.txt passed
invalid343.txt passed
invalid344.txt passed
invalid345.txt passed
invalid347.txt passed
invalid349.txt passed
invalid352.txt passed
invalid353.txt passed
invalid354.txt passed
invalid357.txt passed
invalid358.txt passed
invalid359.txt passed
invalid361.txt passed
invalid365.txt passed
invalid368.txt passed
invalid371.txt passed
invalid373.txt passed
invalid376.txt passed
invalid377.txt passed
invalid378.txt passed
invalid379.txt passed
invalid383.txt passed
```

```
invalid383.txt passed
invalid384.txt passed
invalid385.txt passed
invalid386.txt passed
invalid387.txt passed
invalid388.txt passed
invalid392.txt passed
invalid395.txt passed
invalid399.txt passed
invalid401.txt passed
invalid404.txt passed
invalid412.txt passed
invalid414.txt passed
invalid415.txt passed
invalid416.txt passed
invalid419.txt passed
invalid423.txt passed
invalid424.txt passed
invalid425.txt passed
invalid428.txt passed
invalid429.txt passed
invalid431.txt passed
invalid432.txt passed
invalid435.txt passed
invalid436.txt passed
invalid439.txt passed
invalid440.txt passed
invalid442.txt passed
invalid444.txt passed
invalid445.txt passed
invalid446.txt passed
invalid449.txt passed
invalid454.txt passed
invalid456.txt passed
invalid457.txt passed
invalid458.txt passed
invalid461.txt passed
invalid462.txt passed
invalid464.txt passed
invalid466.txt passed
invalid467.txt passed
invalid469.txt passed
invalid470.txt passed
invalid471.txt passed
invalid473.txt passed
invalid475.txt passed
```

```
invalid475.txt passed
invalid476.txt passed
invalid481.txt passed
invalid482.txt passed
invalid483.txt passed
invalid485.txt passed
invalid487.txt passed
invalid489.txt passed
invalid491.txt passed
invalid500.txt passed
invalid504.txt passed
invalid507.txt passed
invalid508.txt passed
invalid510.txt passed
invalid511.txt passed
invalid517.txt passed
invalid526.txt passed
invalid528.txt passed
invalid529.txt passed
invalid531.txt passed
invalid536.txt passed
invalid537.txt passed
invalid539.txt passed
invalid540.txt passed
invalid542.txt passed
invalid544.txt passed
invalid545.txt passed
invalid546.txt passed
invalid548.txt passed
invalid554.txt passed
invalid556.txt passed
invalid557.txt passed
invalid561.txt passed
invalid562.txt passed
invalid563.txt passed
invalid564.txt passed
invalid566.txt passed
invalid569.txt passed
invalid570.txt passed
invalid571.txt passed
invalid572.txt passed
invalid573.txt passed
invalid580.txt passed
invalid582.txt passed
invalid583.txt passed
invalid587.txt passed
```



```
invalid587.txt passed
invalid589.txt passed
invalid591.txt passed
invalid601.txt passed
invalid602.txt passed
invalid603.txt passed
invalid604.txt passed
invalid606.txt passed
invalid607.txt passed
invalid608.txt passed
invalid610.txt passed
invalid613.txt passed
invalid617.txt passed
invalid618.txt passed
invalid620.txt passed
invalid624.txt passed
invalid626.txt passed
invalid629.txt passed
invalid630.txt passed
invalid632.txt passed
invalid633.txt passed
invalid634.txt passed
invalid636.txt passed
invalid638.txt passed
invalid639.txt passed
invalid641.txt passed
invalid642.txt passed
invalid645.txt passed
invalid646.txt passed
invalid647.txt passed
invalid651.txt passed
invalid654.txt passed
invalid655.txt passed
invalid657.txt passed
invalid658.txt passed
invalid659.txt passed
invalid662.txt passed
invalid663.txt passed
invalid665.txt passed
invalid669.txt passed
invalid671.txt passed
invalid672.txt passed
invalid674.txt passed
invalid676.txt passed
invalid678.txt passed
invalid680.txt passed
```

```
invalid680.txt passed
invalid681.txt passed
invalid683.txt passed
invalid684.txt passed
invalid685.txt passed
invalid688.txt passed
invalid690.txt passed
invalid691.txt passed
invalid692.txt passed
invalid693.txt passed
invalid694.txt passed
invalid697.txt passed
invalid698.txt passed
invalid700.txt passed
invalid701.txt passed
invalid707.txt passed
invalid708.txt passed
invalid709.txt passed
invalid712.txt passed
invalid713.txt passed
invalid714.txt passed
invalid718.txt passed
invalid720.txt passed
invalid723.txt passed
invalid725.txt passed
invalid727.txt passed
invalid729.txt passed
invalid731.txt passed
invalid732.txt passed
invalid733.txt passed
invalid735.txt passed
invalid737.txt passed
invalid740.txt passed
invalid741.txt passed
invalid743.txt passed
invalid745.txt passed
invalid746.txt passed
invalid748.txt passed
invalid749.txt passed
invalid751.txt passed
invalid752.txt passed
invalid754.txt passed
invalid755.txt passed
invalid757.txt passed
invalid758.txt passed
invalid759.txt passed
```

```
invalid759.txt passed
invalid760.txt passed
invalid761.txt passed
invalid770.txt passed
invalid771.txt passed
invalid772.txt passed
invalid773.txt passed
invalid774.txt passed
invalid775.txt passed
invalid778.txt passed
invalid780.txt passed
invalid782.txt passed
invalid789.txt passed
invalid791.txt passed
invalid793.txt passed
invalid795.txt passed
invalid796.txt passed
invalid799.txt passed
invalid801.txt passed
invalid802.txt passed
invalid803.txt passed
invalid805.txt passed
invalid807.txt passed
invalid809.txt passed
invalid812.txt passed
invalid815.txt passed
invalid816.txt passed
invalid818.txt passed
invalid819.txt passed
invalid822.txt passed
invalid824.txt passed
invalid825.txt passed
invalid827.txt passed
invalid828.txt passed
invalid829.txt passed
invalid830.txt passed
invalid831.txt passed
invalid834.txt passed
invalid837.txt passed
invalid838.txt passed
invalid841.txt passed
invalid844.txt passed
invalid848.txt passed
invalid853.txt passed
invalid854.txt passed
invalid856.txt passed
```

```
invalid866.txt passed
invalid867.txt passed
invalid858.txt passed
invalid860.txt passed
invalid861.txt passed
invalid863.txt passed
invalid866.txt passed
invalid870.txt passed
invalid875.txt passed
invalid876.txt passed
invalid877.txt passed
invalid878.txt passed
invalid879.txt passed
invalid881.txt passed
invalid884.txt passed
invalid885.txt passed
invalid889.txt passed
invalid890.txt passed
invalid891.txt passed
invalid894.txt passed
invalid895.txt passed
invalid898.txt passed
invalid901.txt passed
invalid902.txt passed
invalid906.txt passed
invalid907.txt passed
invalid909.txt passed
invalid913.txt passed
invalid915.txt passed
invalid920.txt passed
invalid921.txt passed
invalid922.txt passed
invalid923.txt passed
invalid925.txt passed
invalid926.txt passed
invalid929.txt passed
invalid931.txt passed
invalid933.txt passed
invalid935.txt passed
invalid936.txt passed
invalid938.txt passed
invalid940.txt passed
invalid941.txt passed
invalid943.txt passed
invalid944.txt passed
invalid945.txt passed
```

```
invalid945.txt passed
invalid946.txt passed
invalid947.txt passed
invalid948.txt passed
invalid950.txt passed
invalid952.txt passed
invalid956.txt passed
invalid957.txt passed
invalid960.txt passed
invalid961.txt passed
invalid963.txt passed
invalid965.txt passed
invalid966.txt passed
invalid970.txt passed
invalid974.txt passed
invalid976.txt passed
invalid977.txt passed
invalid979.txt passed
invalid980.txt passed
invalid983.txt passed
invalid984.txt passed
invalid989.txt passed
invalid990.txt passed
invalid991.txt passed
invalid993.txt passed
invalid995.txt passed
invalid996.txt passed
invalid997.txt passed
invalid998.txt passed
PS C:\Users\Simon Moradbakti\Pictures\Logik för dataloger\IV1351\tests>
```

Figure 4: Output av alla bevis från uppgiften