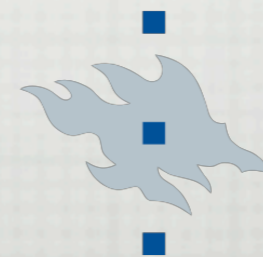


JOHDATUS TEKOÄLYYN

TEEMU ROOS



HELSINGIN YLIOPISTO



TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

OIKEASSA MAAILMASSA OTETTAVA HUOMIOON:

- * HAVAINTOJEN EPÄTARKKUUS
- * EPÄVARMUUS JA EPÄTÄSMÄLLISYYS
- * RISTIRIITAINEN INFORMAATIO
- * (RELEVANTTI) TAUSTATIETO
- * TOSIAIKAISUUS
- * JNE.

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA



TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

AKKU

RADIO

SYTYTYYS

BENSA

KÄYNIISTYY

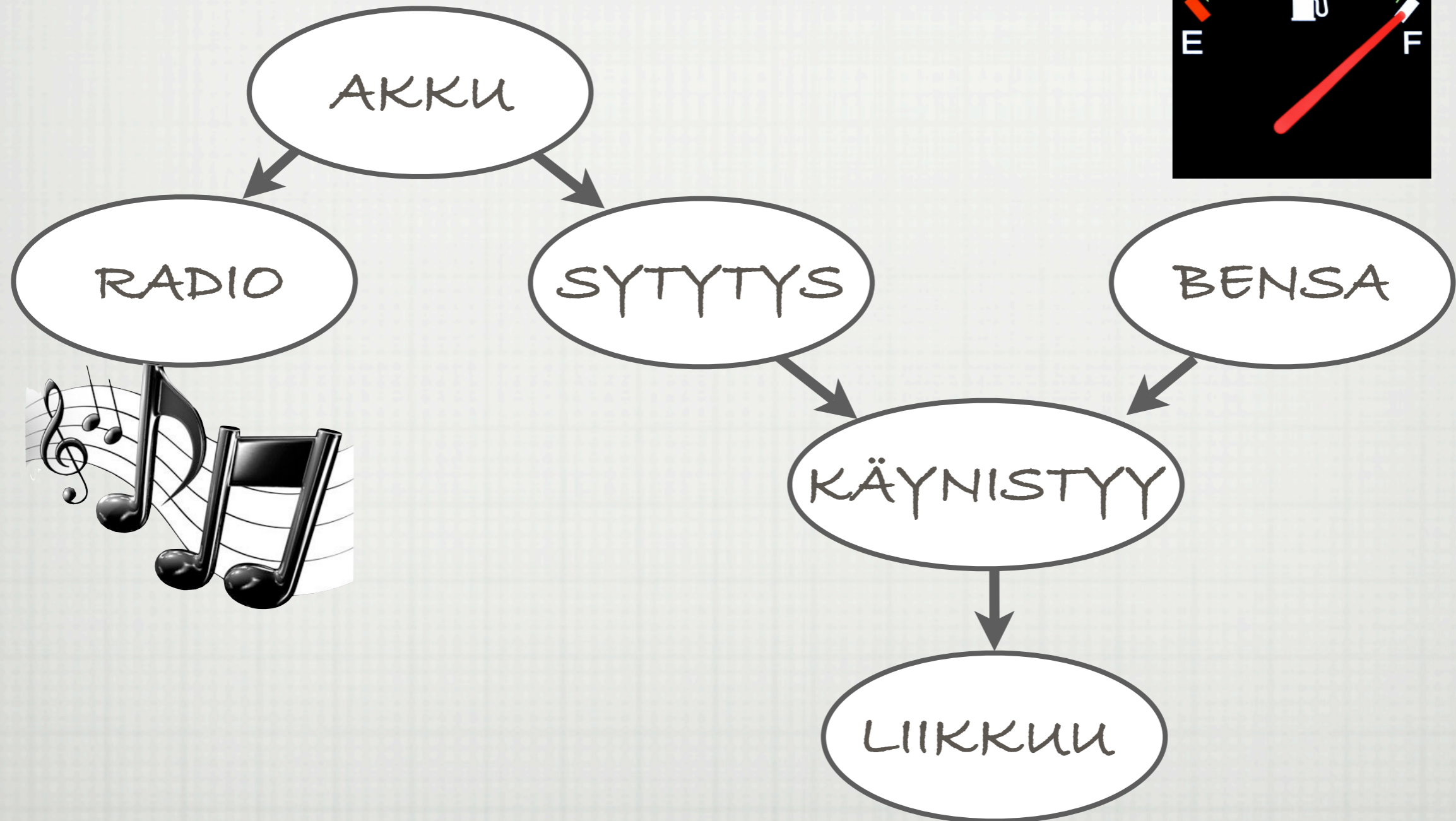
LIIKKUU

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

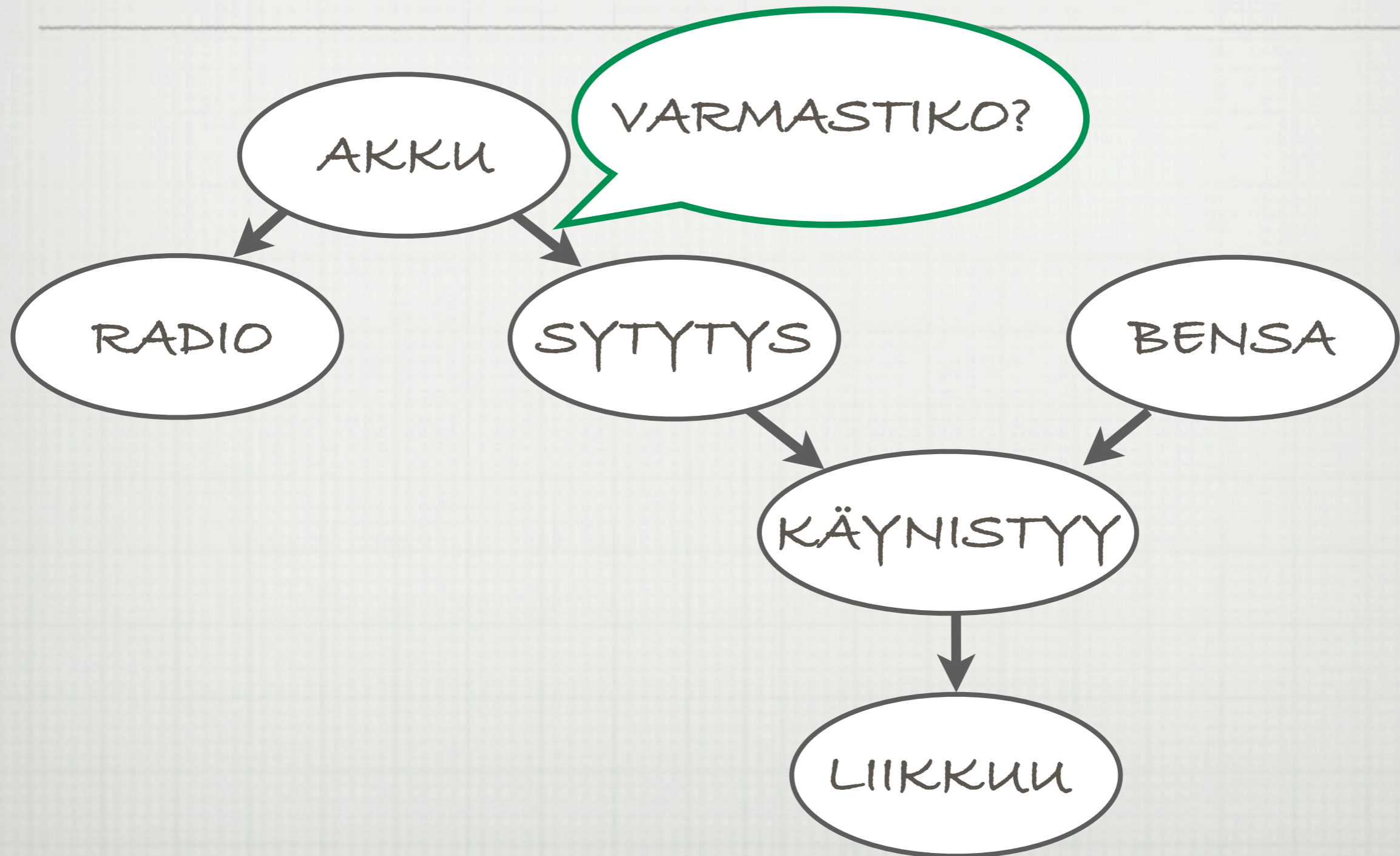
- * JOS AKKU ON TYHJÄ, RADIO EI SOI EIKÄ SYTYTYYS TOIMI.
- * JOS SYTYTYYS EI TOIMI, AUTO EI KÄYNNISTY.
- * JOS BENSATANKKI ON TYHJÄ, AUTO EI KÄYNNISTY.
- * JOS AUTO EI KÄYNNISTY, AUTO EI LIIKU.

- * AUTO EI LIIKU: MISSÄ VIKA?
- * SOIKO RADIO? ONKO BENSAA?

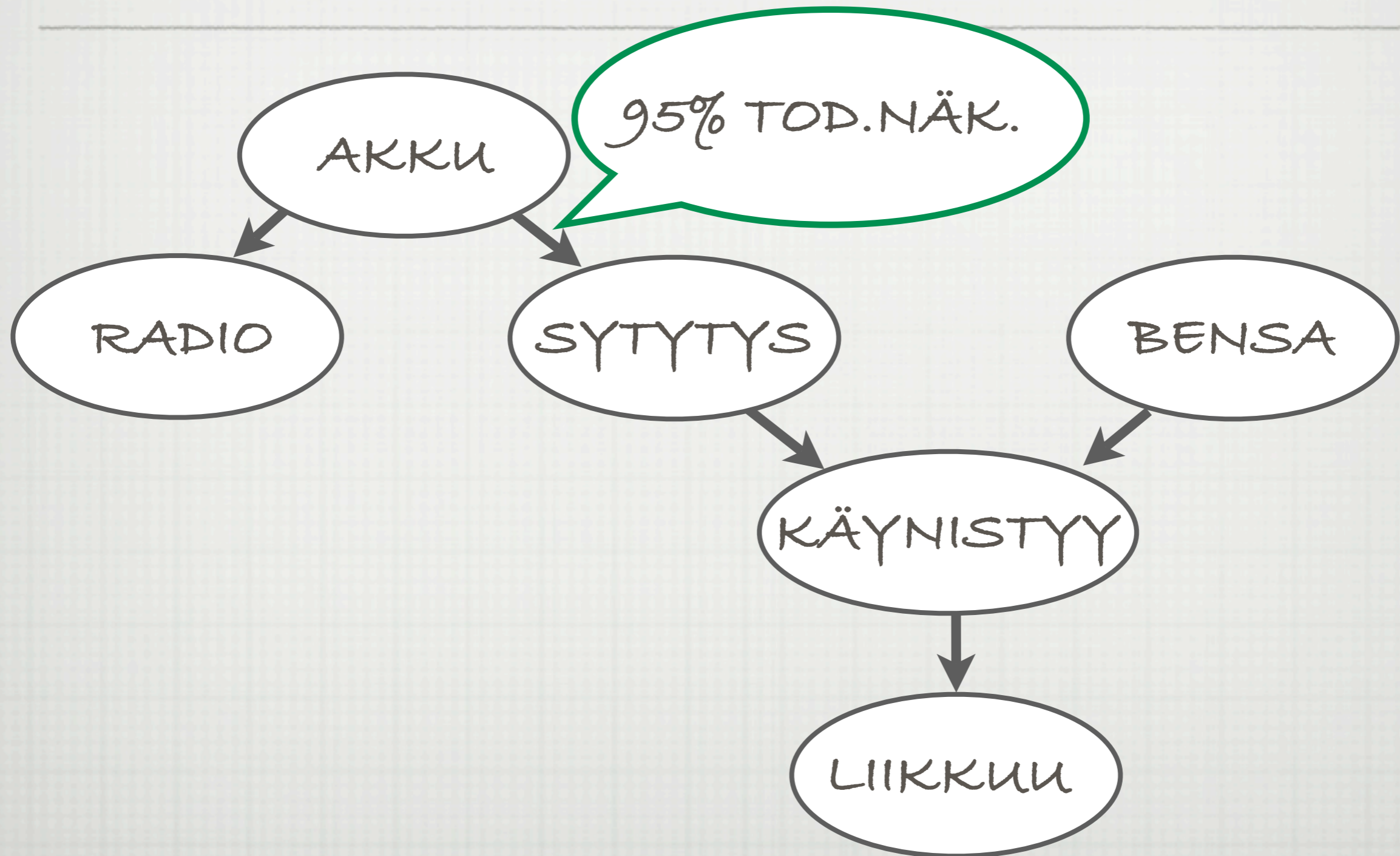
TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA



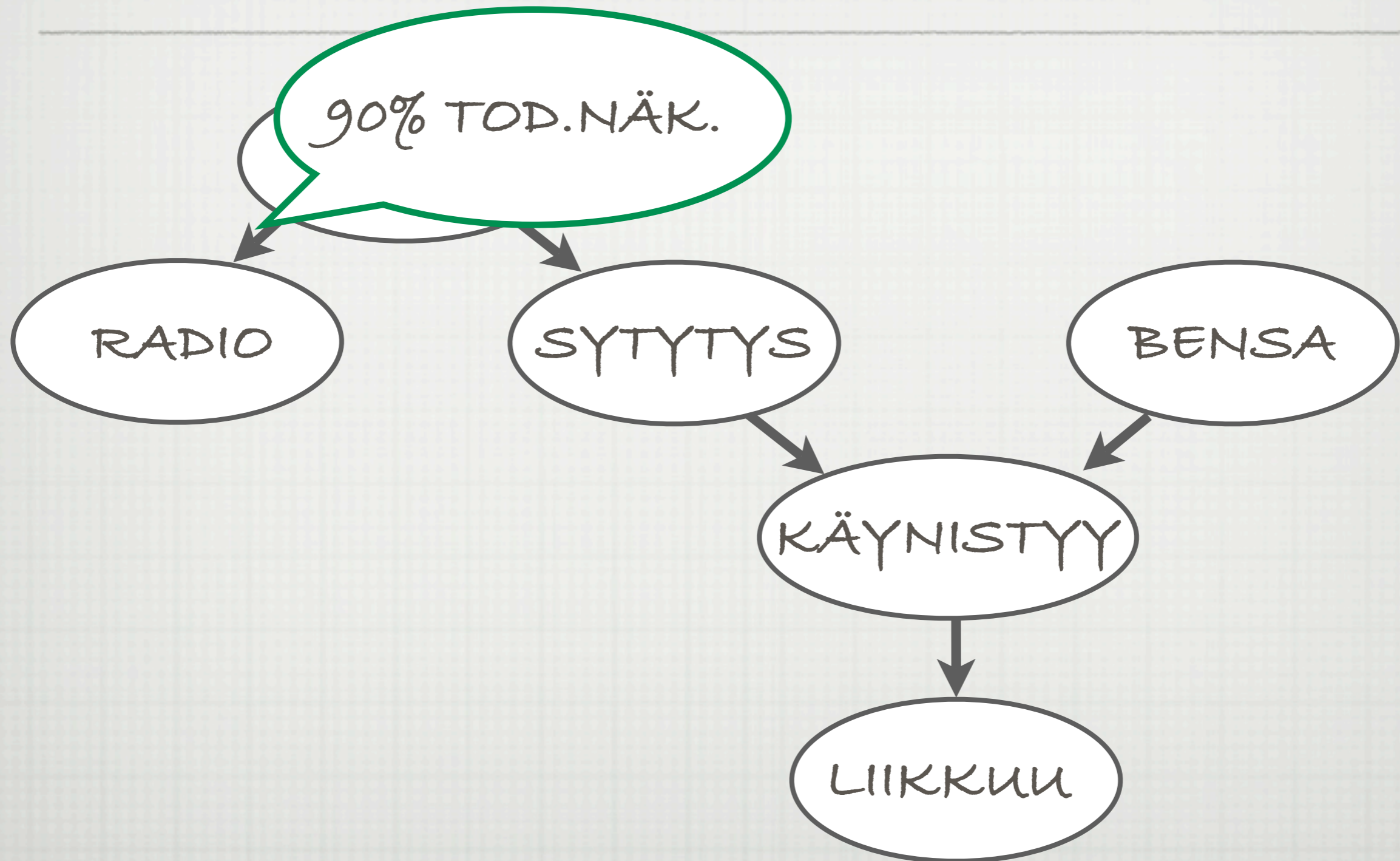
TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA



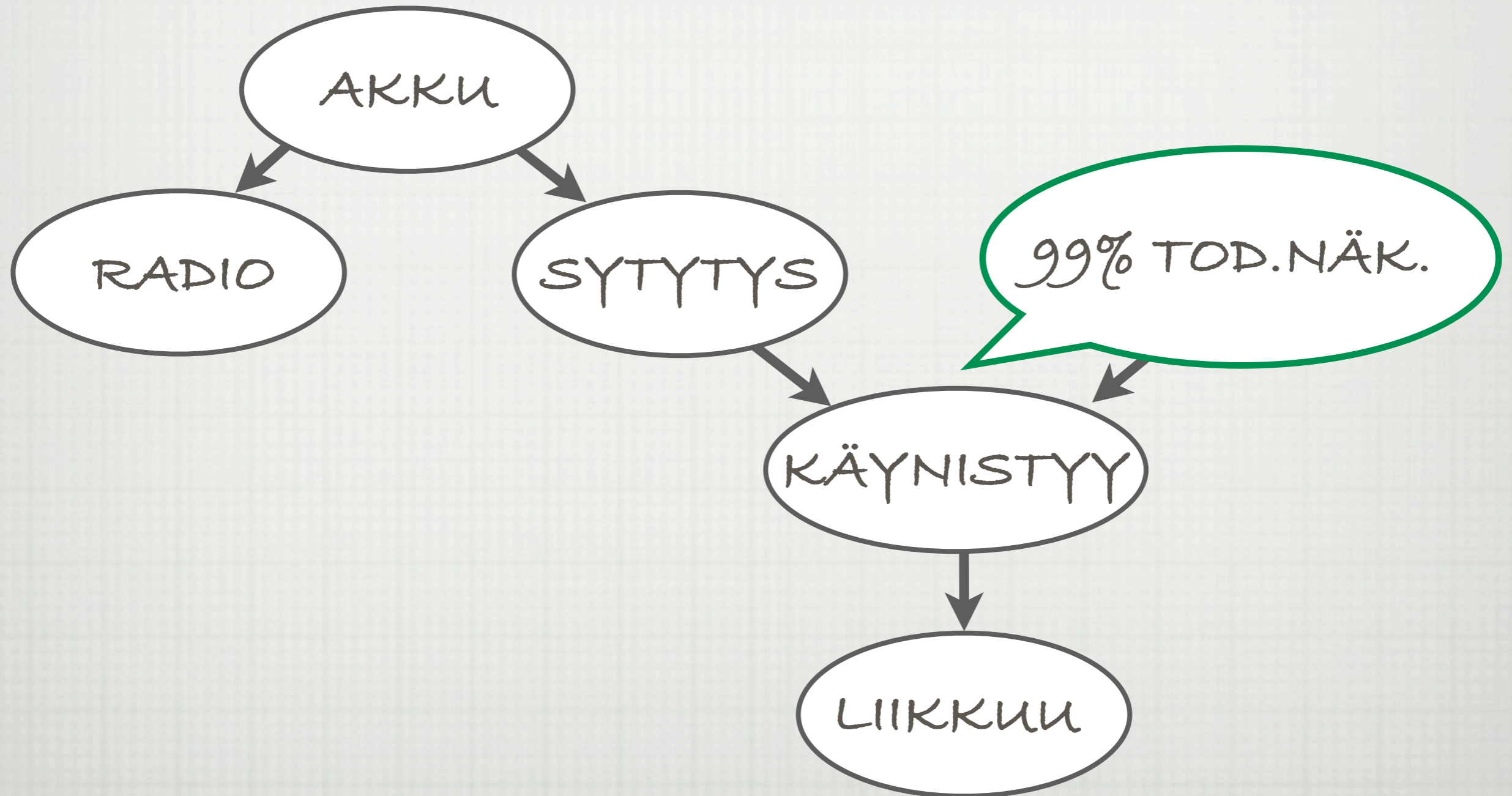
TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA



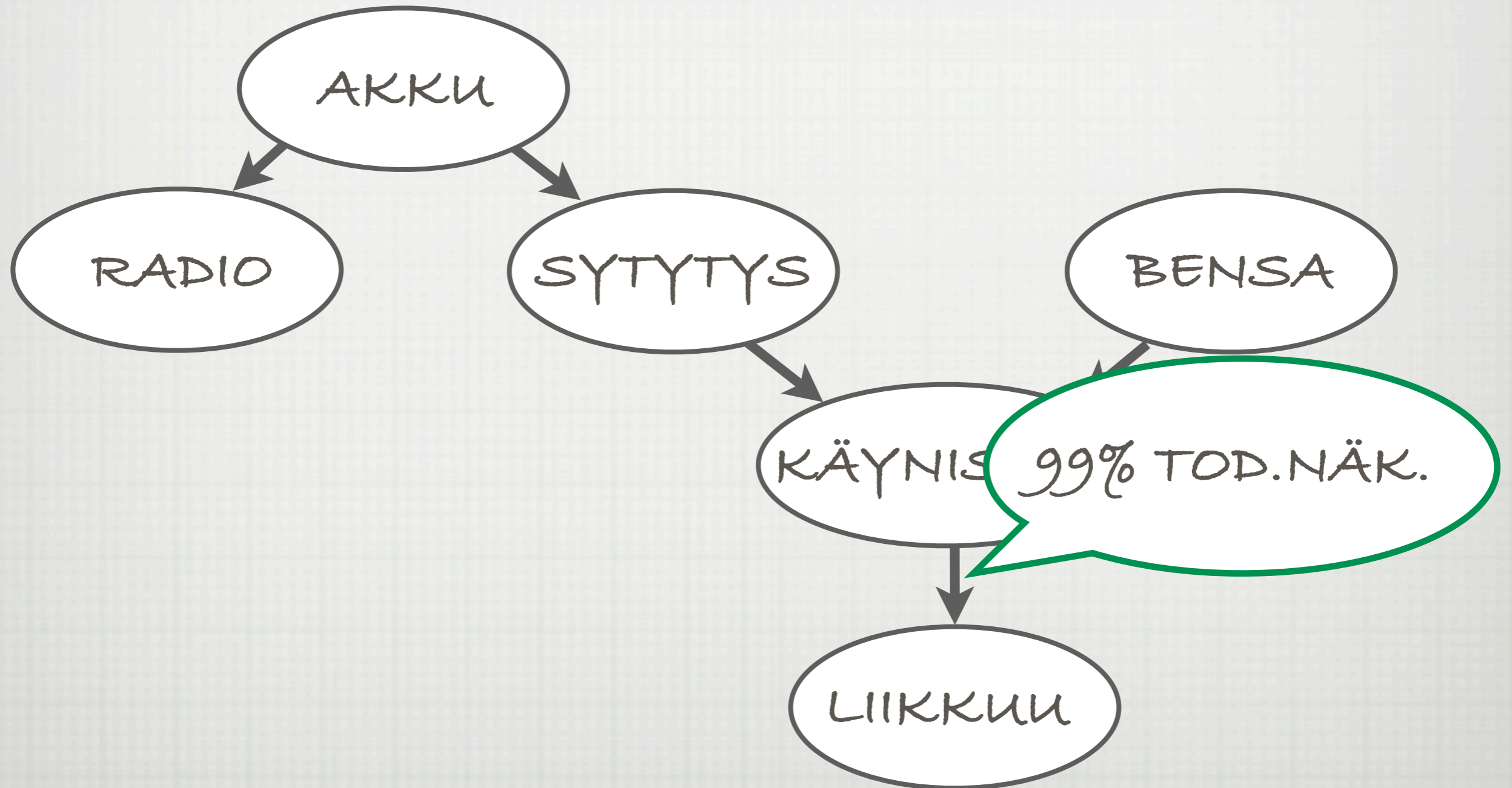
TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA



TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

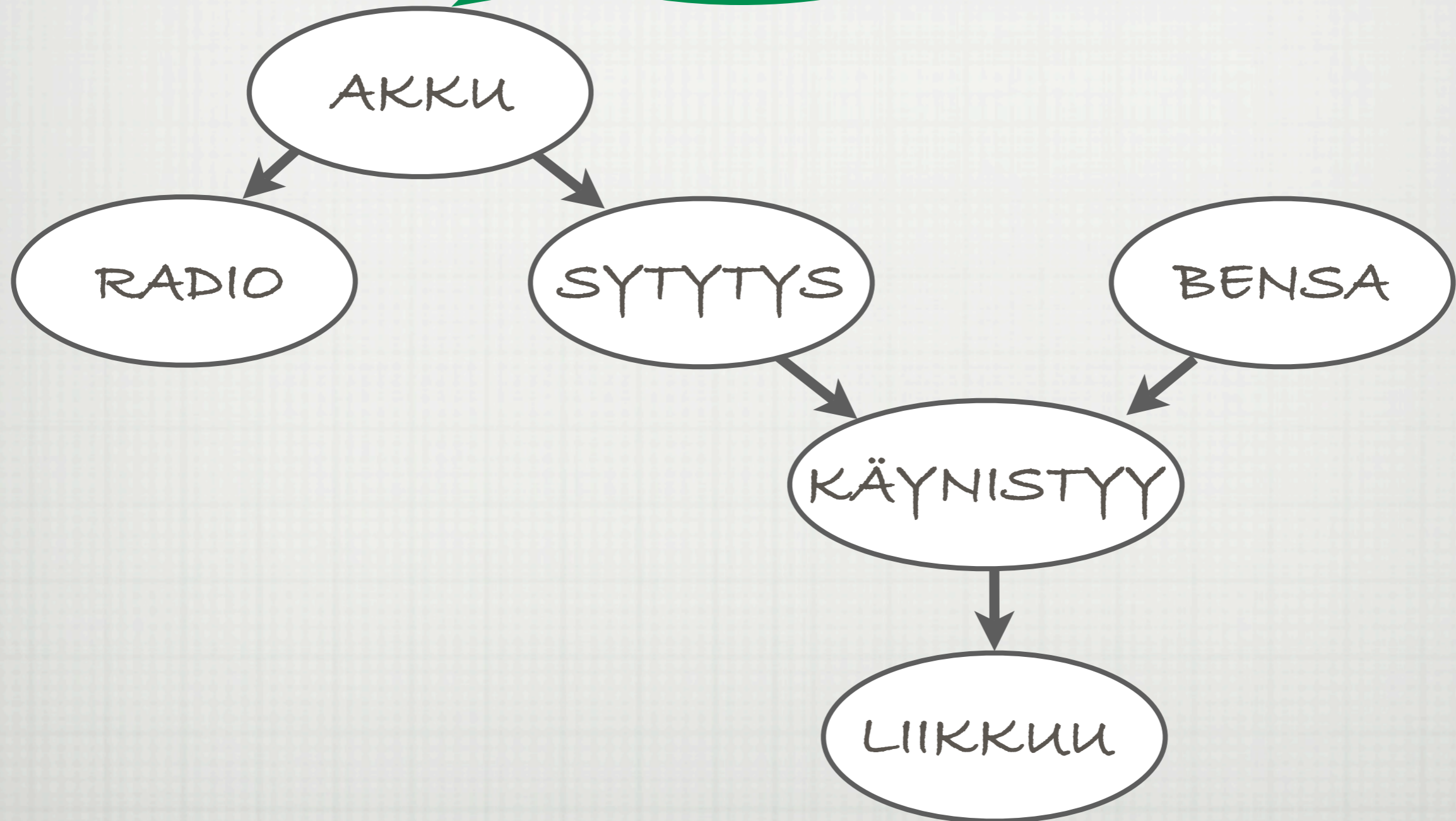


TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

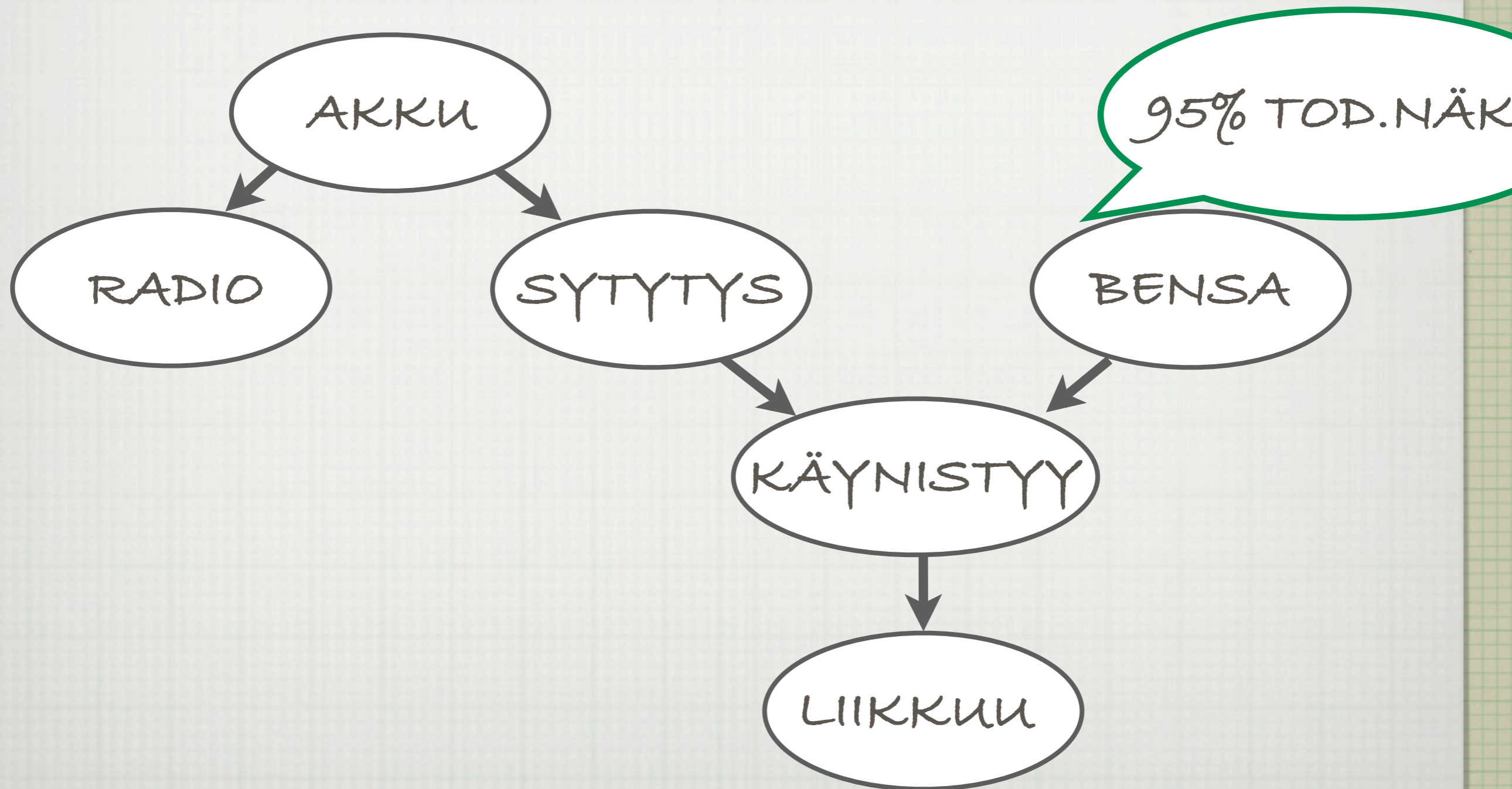


TEKOÄLY ÖKOLOGISUUSMAAILMASSA

90% TOD.NÄK.



TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA



TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

- * $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"}) = 0.9$
- * $P(\text{"RADIO"} \mid \text{"AKUSSA VIRTAA"}) = 0.9$
 $P(\text{"RADIO"} \mid \neg \text{"AKUSSA VIRTAA"}) = 0$
- * $P(\text{"SYTYTYYS"} \mid \text{"AKUSSA VIRTAA"}) = 0.95$
 $P(\text{"SYTYTYYS"} \mid \neg \text{"AKUSSA VIRTAA"}) = 0$
- * $P(\text{"BENSAA"}) = 0.95$
- * $P(\text{"KÄYNNISTYY"} \mid \text{"AKUSSA VIRTAA"} \text{ JA } \text{"BENSAA"}) = 0.99$
 $P(\text{"KÄYNNISTYY"} \mid \neg \text{"A"} \text{ TAI } \neg \text{"B"}) = 0$
- * $P(\text{"LIIKKUU"} \mid \text{"KÄYNNISTYY"}) = 0.99$
 $P(\text{"LIIKKUU"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = 0$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(A, \neg K) &= P(A, R, S, B, \neg K, L) \\ &+ P(A, R, S, B, \neg K, \neg L) \\ &+ P(A, R, S, \neg B, \neg K, L) \\ &+ P(A, R, S, \neg B, \neg K, \neg L) \\ &+ P(A, R, \neg S, B, \neg K, L) \\ &+ \dots \\ &+ P(A, \neg R, \neg S, \neg B, \neg K, \neg L) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) &= P(A, R, S, B, \neg K, L) \\ &+ P(A, R, S, B, \neg K, \neg L) \\ &+ P(A, R, S, \neg B, \neg K, L) \\ &+ P(A, R, S, \neg B, \neg K, \neg L) \\ &+ P(A, R, \neg S, B, \neg K, L) \\ &+ \dots \\ &+ P(\neg A, \neg R, \neg S, \neg B, \neg K, \neg L) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

"KETJUSÄÄNTÖ"

$$\begin{aligned} &P(A, R, S, B, \neg K, L) \\ &= P(A) P(R \mid A) P(S \mid A, R) P(B \mid A, R, S) \\ &\quad \times P(\neg K \mid A, R, S, B) P(L \mid A, R, S, B, \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

"KETJUSÄÄNTÖ"

$$\begin{aligned} &P(A, R, S, B, \neg K, L) \\ &= P(A) P(R \mid A) P(S \mid A, R) P(B \mid A, R, S) \\ &\quad \times P(\neg K \mid A, R, S, B) P(L \mid A, R, S, B, \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} &P(A, R, S, B, \neg K, L) \\ &= P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(L \mid \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) &= P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(L \mid \neg K) \\ &+ P(A, R, S, B, \neg K, \neg L) \\ &+ P(A, R, S, \neg B, \neg K, L) \\ &+ P(A, R, S, \neg B, \neg K, \neg L) \\ &+ P(A, R, \neg S, B, \neg K, L) \\ &+ \dots \\ &+ P(\neg A, \neg R, \neg S, \neg B, \neg K, \neg L) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) &= P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(L \mid \neg K) \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(\neg L \mid \neg K) \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(L \mid \neg K) \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(\neg S \mid A) P(B) P(\neg K \mid \neg S, B) P(L \mid \neg K) \\ &+ \dots \\ &+ P(\neg A) P(\neg R \mid \neg A) P(\neg S \mid \neg A) P(\neg B) P(\neg K \mid \neg S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) = & 0.9 P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(\neg L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(\neg S \mid A) P(B) P(\neg K \mid \neg S, B) P(L \mid \neg K) \\ & + \dots \\ & + P(\neg A) P(\neg R \mid \neg A) P(\neg S \mid \neg A) P(\neg B) P(\neg K \mid \neg S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) = & 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.01 \times 0.0 \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(\neg L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(\neg S \mid A) P(B) P(\neg K \mid \neg S, B) P(L \mid \neg K) \\ & + \dots \\ & + P(\neg A) P(\neg R \mid \neg A) P(\neg S \mid \neg A) P(\neg B) P(\neg K \mid \neg S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) = & 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times \boxed{=0.0} \times 0.01 \times 0.0 \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(B) P(\neg K \mid S, B) P(\neg L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \\ & + P(A) P(R \mid A) P(\neg S \mid A) P(B) P(\neg K \mid \neg S, B) P(L \mid \neg K) \\ & + \dots \\ & + P(\neg A) P(\neg R \mid \neg A) P(\neg S \mid \neg A) P(\neg B) P(\neg K \mid \neg S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) &= 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.01 \times 0.0 = 0.0 \\ &+ 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.01 \times 1.0 = 0.00731025 \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(L \mid \neg K) \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(S \mid A) P(\neg B) P(\neg K \mid S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \\ &+ P(A) P(R \mid A) P(\neg S \mid A) P(B) P(\neg K \mid \neg S, B) P(L \mid \neg K) \\ &+ \dots \\ &+ P(\neg A) P(\neg R \mid \neg A) P(\neg S \mid \neg A) P(\neg B) P(\neg K \mid \neg S, \neg B) P(\neg L \mid \neg K) \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg\text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)}$$

$$\begin{aligned} P(\neg K) = & 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.01 \times 0.0 \\ & + 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.01 \times 1.0 \\ & + 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 1.0 \times 0.0 \\ & + 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 1.0 \times 1.0 \\ & + 0.9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95 \times 1.0 \times 1.0 \\ & + \dots \\ & + 0.1 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.05 \times 1.0 \times 1.0 \end{aligned}$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "MATEMAATTINEN" LÄHESTYMISTAPA:

$$P(A \mid \neg K) = \frac{P(A, \neg K)}{P(\neg K)} = 0.XYZ\dots$$

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

* $P(\text{"AKUSSA VIRTAA"} \mid \neg \text{"KÄYNNISTYY"}) = ?$

* "KÄPISTELIJÄN" LÄHESTYMISTAPA:

1. GENEROI MILJOONA TAPAUSTA.
2. VALITSE TAPAUKSET, JOISSA AUTO EI KÄYNNISTY.
3. KATSO KUINKA SUURESSA OSASSA AKUSSA ON VIRTAA.

TEKOÄLY OIKEASSA MAAILMASSA

GENEROI-MONIKKOJA(N, Malli):

for i = 1 to N:

for X in Malli.Muuttujat:

X = SATUNNAISLUKU(X.Jakauma(VANHEMMAT(X)))

print X

X = AKKU: X.JAKAUMA(\emptyset) = (0.1, 0.9)

X = RADIO: X.JAKAUMA({AKKU}) = (1.0, 0.0) JOS AKKU = 0
(0.1, 0.9) JOS AKKU = 1

X = K: X.JAKAUMA({A, B}) = (1.0, 0.0) JOS A=0, B=0
(1.0, 0.0) JOS A=0, B=1
(1.0, 0.0) JOS A=1, B=0
(0.01, 0.99) JOS A=1, B=1

SATUNNAISAPPROKSIMAATIO

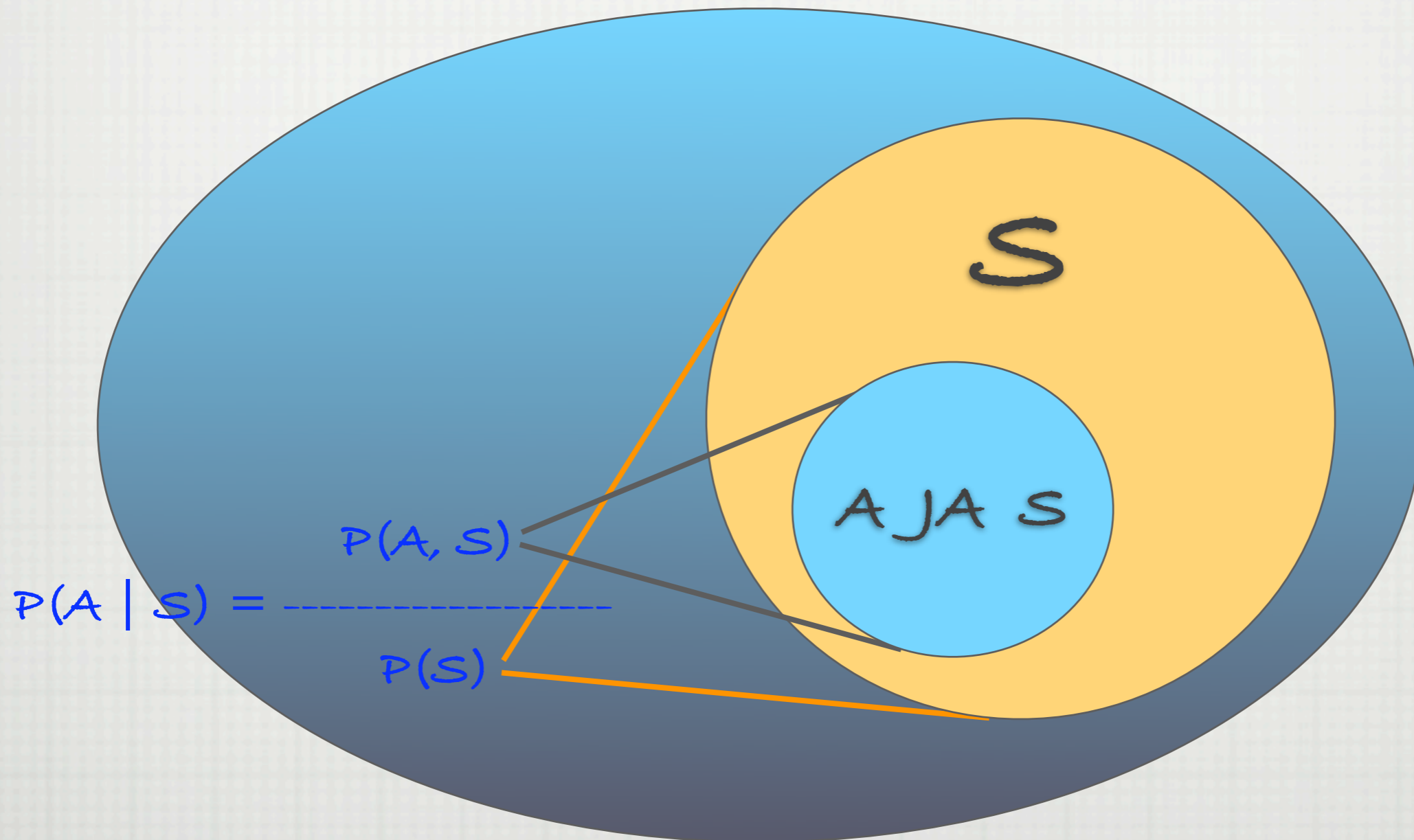
SATUNNAISOTANTAAN PERUSTUVA APPROKSIMAATIO:

$$P(S) \approx \frac{\text{"KUINKA MONESSA S"}}{N}$$

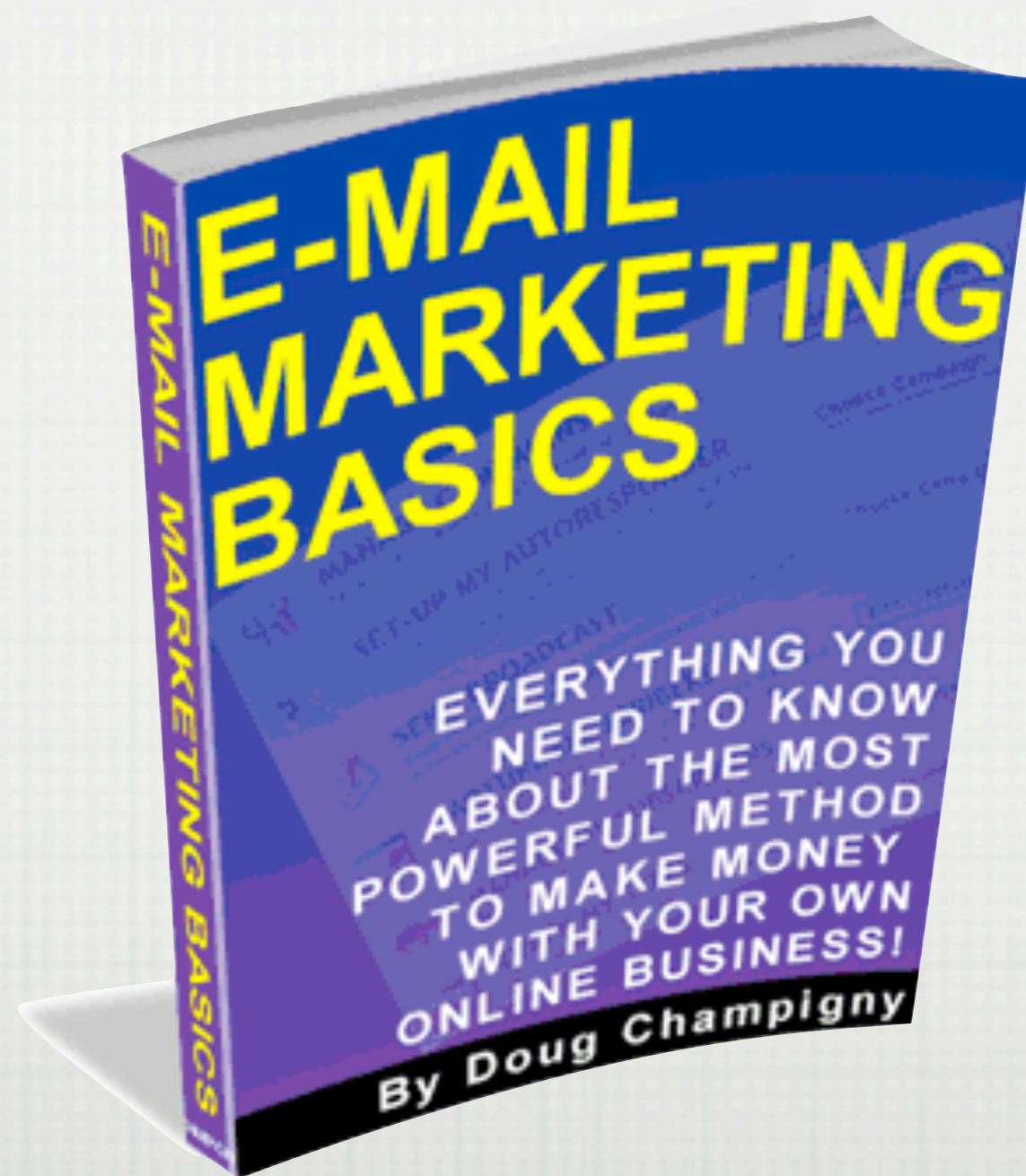
$$P(A | S) \approx \frac{\text{"KUINKA MONESSA AJA S"}}{\text{"KUINKA MONESSA S"}}$$

KUN $N \rightarrow \infty$, APPROKSIMAATIO SUPPENEET KOHTI OIKEAA ARVOA.

SATUNNAISAPPROKSIMAATIO



KUINKA RIKASTUA



KUINKA RIKASTUA

✱ KUINKA VÄLTÄÄ ROSKAPOSTISUODATIN?

✱ ÄLÄ KIRJOITA:

KUINKA RIKASTUA

* KUINKA TUNNISTAA ROSKAPOSTI?

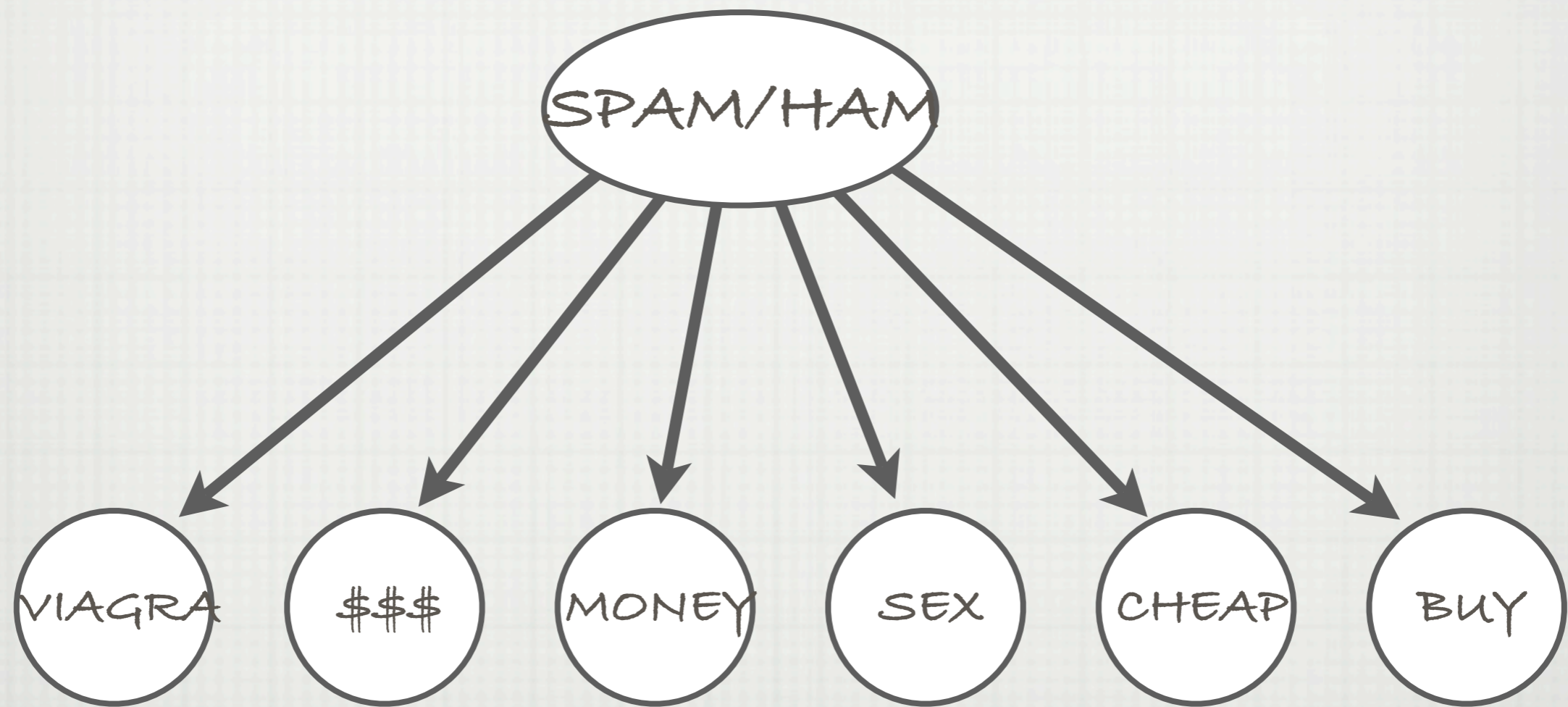
* JOS _____ NIIN SPAM.

* JOS _____ NIIN SPAM.

* JOS _____ NIIN SPAM,
ELLEI _____.

* JOS _____ NIIN SPAM,
ELLEI _____ PAITSI
JOS _____ TAI _____.

NAIVI BAYES



$$P(\text{VIAGRA} \mid \text{HAM}) = 0.0001$$

$$P(\text{VIAGRA} \mid \text{SPAM}) = 0.02$$