



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for matematiske fag

TMA4245 Statistikk  
Vår 2017

Anbefalt øving 4  
Løsningsskisse

### Oppgave 1 Mureren

La  $X$  være mengden mørtel mureren bruker i løpet av en tilfeldig valgt arbeidsdag. Da er  $X$  en tilfeldig variabel med sannsynlighetstetthet

$$f(x) = \begin{cases} 1/3 & 4 < x \leq 7 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$

- a) Sannsynligheten for at det en tilfeldig dag går med mer enn 6 hl mørtel er

$$P(X > 6) = \int_6^{\infty} f(x)dx = \int_6^7 \frac{1}{3}dx = \underline{\underline{\frac{1}{3}}}.$$

La  $m$  være mengden mørtel som kjøpes inn. Vi vil finne verdien  $m_{0.05}$  som er slik at sannsynligheten for at forbruket  $X$  overstiger den innkjøpte mengden kontrolleres på fem prosent, altså har vi

$$P(X > m_{0.05}) = 0.05 \Leftrightarrow \int_{m_{0.05}}^{\infty} f(x)dx = 0.05 \Leftrightarrow \int_{m_{0.05}}^7 \frac{1}{3}dx = 0.05 \Leftrightarrow m_{0.05} = \underline{\underline{6.85}}.$$

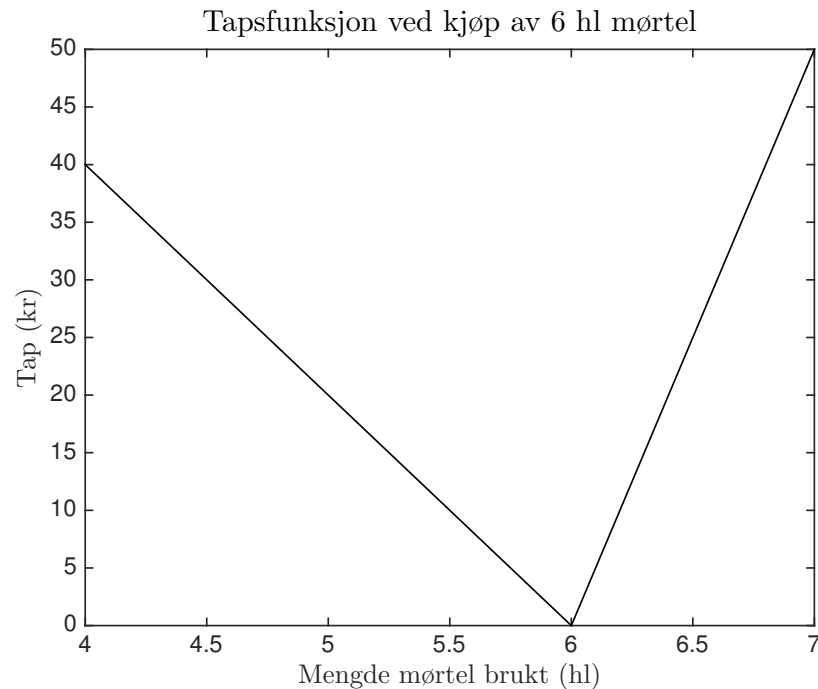
- b) Fra a) vet vi at  $P(X > 6) = \frac{1}{3}$ . La nå  $Z$  være antall dager han får for lite mørtel om han kjøper inn 6 hl. Sannsynligheten for at han får for lite mørtel minst én av dagene er

$$P(Z \geq 1) = 1 - P(Z = 0) = 1 - \{P(X < 6)\}^4 = 1 - \left\{\frac{2}{3}\right\}^4 = \underline{\underline{0.8}}.$$

- c) Mureren taper 20 kr per hl for mye mørtel og 50 kr per hl for lite mørtel. Vi definerer en funksjon  $g(x)$  for å representere tap ved  $x$  hl mørtel. Hvis mureren har for mye mørtel ( $4 < x \leq 6$ ), vil det være igjen  $(6 - x)$  hl mørtel som gir  $20 \cdot (6 - x)$  kr tap. Hvis mureren har for lite mørtel ( $6 < x \leq 7$ ) vil tapet være på  $50 \cdot (x - 6)$  kr. For alle andre verdier av  $x$  er tapet 0 kr. Vi skriver dermed tapsfunksjonen

$$g(x) = \begin{cases} 20(6 - x) & 4 < x \leq 6 \\ 50(x - 6) & 6 < x \leq 7 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$

$$\text{tap} = @(\mathbf{x}) \ 20.*(\mathbf{6-x}).*(\mathbf{x}<=6) + 50.*(\mathbf{x-6}).*(\mathbf{x}>6);$$



Figur 1: Grafen til tapsfunksjonen når mureren kjøper inn 6 hl mørtel.

```
xx = linspace(4,7,100);

figure()
plot(xx,tap(xx),'k-');
xlabel('Mengde m{\o}rtel brukt (hl)', ...
      'Interpreter','Latex','FontSize',16)
ylabel('Tap (kr)','Interpreter','Latex','FontSize',16)
title('Tapsfunksjon ved kj{\o}p av 6 hl m{\o}rtel', ...
      'Interpreter','Latex','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',14);
box on
```

- d) Siden forbruket  $X$  er en tilfeldig variabel, vil også tapet  $T = g(X)$  være en tilfeldig variabel. Med *forventet tap* menes forventningsverdien til  $T$ . Denne er definert som

$$E(T) = E(g(X)) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)f(x)dx.$$

Forventet tap ved kjøp av 6 hl blir

$$\begin{aligned} E(T; \text{kjøper 6 hl}) &= 20 \int_4^6 (6-x)f(x)dx + 50 \int_6^7 (x-6)f(x)dx \\ &= \frac{20}{3} \int_4^6 (6-x)dx + \frac{50}{3} \int_6^7 (x-6)dx \\ &= \underline{\underline{21.7}}. \end{aligned}$$

Vi skal plote forventet tap  $E(T)$  som en funksjon av mengde mørtel som kjøpes inn. La igjen  $m$  være mengden mørtel som kjøpes inn. Murerens faktiske tap  $T$  en tilfeldig dag er en funksjon av både mørtelforbruket  $X$  denne dagen, og av mengden innkjøpt mørtel  $m$ . Det forventede tapet  $E(T)$  vil imidlertid kun være en funksjon av  $m$ , siden den tilfeldige variabelen  $X$  integreres ut når forventningsverdien beregnes.

Forventet tap når det kjøpes inn  $m$  hl mørtel er

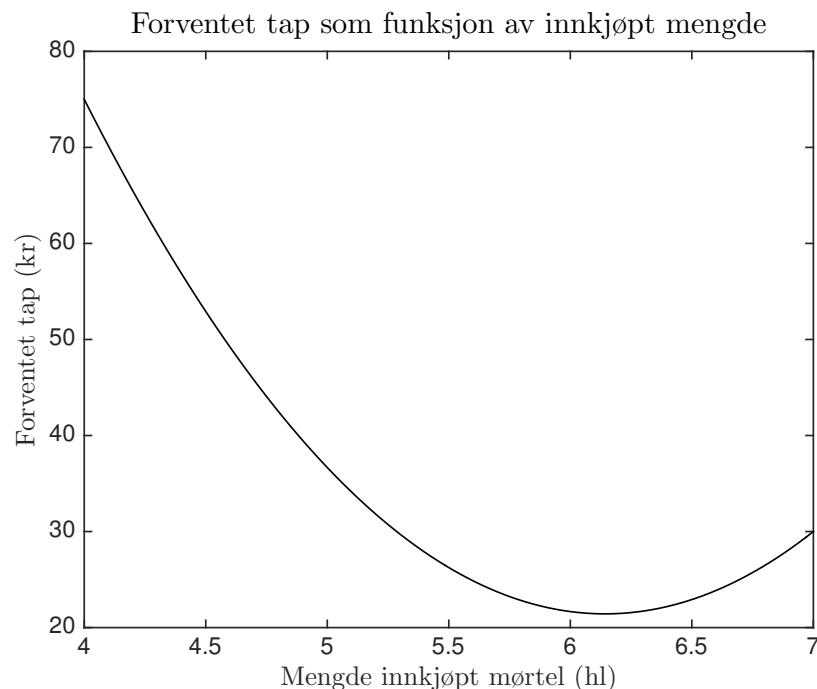
$$\begin{aligned} E(T; \text{kjøper } m \text{ hl}) &= 20 \int_4^m (m-x)f(x)dx + 50 \int_m^7 (x-m)f(x)dx \\ &= \frac{20}{3} \left[ mx - \frac{1}{2}x^2 \right]_4^m + \frac{50}{3} \left[ \frac{1}{2}x^2 - mx \right]_m^7 \\ &= \frac{20}{3} \left[ m^2 - \frac{1}{2}m^2 - 4m + 8 \right] + \frac{50}{3} \left[ \frac{49}{2} - 7m - \frac{1}{2}m^2 + m^2 \right] \\ &= \frac{70}{6}m^2 - \frac{430}{3}m + \frac{1385}{3}. \end{aligned}$$

```
Etap = @(m) (70/6).*m.^2 - (430/3).*m + 1385/3;
```

```
xx = linspace(4,7,100);
```

```
figure()
plot(xx,Etap(xx),'k-');
xlabel('Mengde innkj\o{p}t m\o{r}tel (hl)', ...
      'Interpreter','Latex','FontSize',16)
ylabel('Forventet tap (kr)', ...
      'Interpreter','Latex','FontSize',16)
title('Forventet tap som funksjon av innkj\o{p}t mengde', ...
      'Interpreter','Latex','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',14)
box on
```

La  $u(m)$  være forventet tap som funksjon av mengde innkjøpt mørtel. Figur 2 viser grafen til  $u(m)$  for verdier av  $m$  mellom 4 og 7. Siden  $u$  er et kvadratisk polynom med positiv koeffisient i det første leddet, har den et globalt minimumspunkt som vi finner



Figur 2: Forventet tap når det kjøpes inn  $m$  hl mørtel, for  $4 \leq m \leq 7$ .

ved å derivere, og sette  $u'(m) = 0$ ,

$$\begin{aligned} u'(m) &= \frac{70}{3}m - \frac{430}{3} \\ u'(m^*) &= 0 \\ \frac{70}{3}m^* &= \frac{430}{3} \\ m^* &= \frac{430}{70} = \underline{\underline{6.1429}}. \end{aligned}$$

Siden  $4 \leq m^* \leq 7$  kan mureren minimere sitt forventede tap ved å kjøpe inn  $m^* \approx 6.14$  hl mørtel.

- e) Utledningen i c) og d) svarer til tilfellet  $c = 20$ . Vi gjentar utledningen med  $c$  som en ukjent variabel, og får da tapsfunksjonen

$$g_c(x) = \begin{cases} c(6 - x) & 4 < x \leq 6 \\ 50(x - 6) & 6 < x \leq 7 \end{cases}.$$

Videre blir forventet tap ved kjøp av  $m$  hl mørtel lik

$$\begin{aligned}
 u_c(m) &= E(g_c(X); \text{kjøper } m \text{ hl}) \\
 &= c \int_4^m (m-x)f(x)dx + 50 \int_m^7 (x-m)f(x)dx \\
 &= \frac{c}{3} [mx - \frac{1}{2}x^2]_4^m + \frac{50}{3} [\frac{1}{2}x^2 - mx]_m^7 \\
 &= \frac{c}{3} [m^2 - \frac{1}{2}m^2 - 4m + 8] + \frac{50}{3} [\frac{49}{2} - 7m - \frac{1}{2}m^2 + m^2] \\
 &= \frac{1}{6}cm^2 - \frac{4}{3}cm + \frac{8}{3}c + \frac{1225}{3}m - \frac{25}{3}m^2.
 \end{aligned}$$

```

Etapc = @(m,c) (1/6).*c.*m.^2 - (4/3).*c.*m + (8/3).*c + ...
    1225/3 - (350/3).*m + (25/3).*m.^2;

xx = linspace(4,7,100);

figure()
hold on
plot(xx,Etapc(xx,20),'k-');
plot(xx,Etapc(xx,25),'k--');
plot(xx,Etapc(xx,30),'k-.');
hleg = legend('$c=20$', '$c=25$', '$c=30$');
set(hleg,'Interpreter','Latex','FontSize',16);
xlabel('Mengde innkj{\o}pt m{\o}rtel (hl)', ...
    'Interpreter','Latex','FontSize',16)
ylabel('Forventet tap (kr)', ...
    'Interpreter','Latex','FontSize',16)
title('Forventet tap som funksjon av innkj{\o}pt mengde', ...
    'Interpreter','Latex','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',14)
box on

```

Fra figur 3 kan vi lese av at når  $c = 25$  får vi minimalt forventet tap ved å velge  $m \approx 6$ , og når  $c = 30$  minimeres det forventede tapet når vi velger  $m \approx 5.88$ .

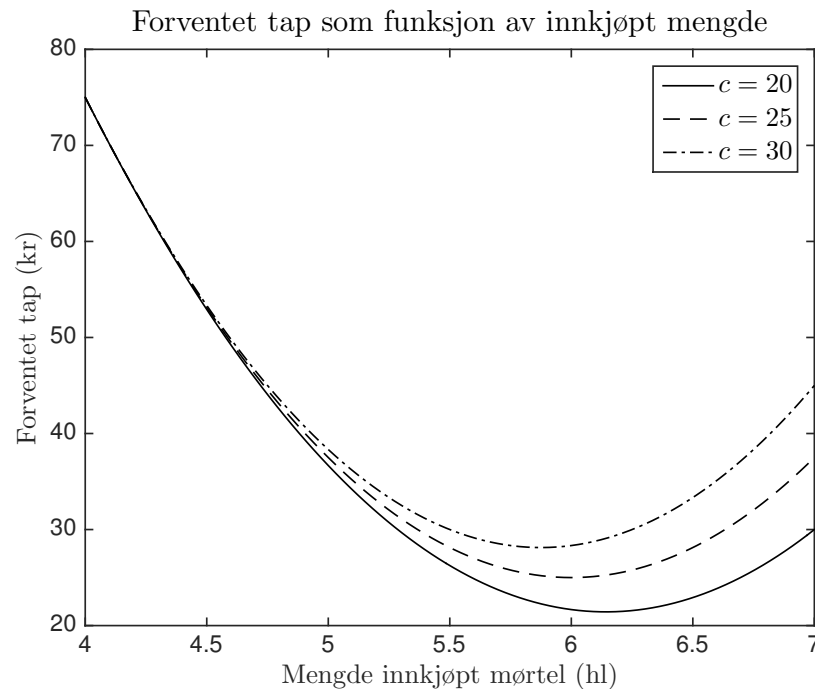
## Oppgave 2

- a) Utfallsrommet til  $X_1$  er  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ . Sannsynlighetsfordelingen til  $X_1$  er den diskrete uniforme fordelingen på dette utfallsrommet, dvs.  $X$  har punktsannsynlighet

$$P(X_1 = x) = \frac{1}{6}, \quad \text{for } x \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}.$$

Forventingsverdien til  $X_1$  er

$$E(X_1) = \sum_{x=1}^6 x \cdot P(X = x) = \sum_{x=1}^6 \frac{x}{6} = \frac{21}{6} = \underline{\underline{\frac{7}{2}}}.$$



Figur 3: Forventet tap for  $c = 20$ ,  $c = 25$  og  $c = 30$ .

- b) Sannsynligheten for at  $Y_2 = 1$  er lik sannsynligheten for å få seksere på første og andre kast,

$$P(Y_2 = 1) = P(X_1 = 6 \cap X_2 = 6) = P(X_1 = 6)P(X_2 = 6) = \frac{1}{6^2}.$$

Tilsvarende har vi, for  $Y_3$ ,

$$P(Y_3 = 1) = P(X_2 = 6 \cap X_3 = 6) = P(X_2 = 6)P(X_3 = 6) = \frac{1}{6^2}.$$

Den simultane sannsynligheten for at både  $Y_2 = 1$  og  $Y_3 = 1$  er

$$\begin{aligned} P(Y_2 = 1 \cap Y_3 = 1) &= P(X_1 = 6 \cap X_2 = 6 \cap X_3 = 6) \\ &= P(X_2 = 6)P(X_2 = 6)P(X_3 = 6) = \frac{1}{6^3}. \end{aligned}$$

Dette er ikke det samme som produktet av sannsynlighetene  $P(Y_2 = 1)$  og  $P(Y_3 = 1)$ . Vi har altså

$$P(Y_2 = 1 \cap Y_3 = 1) = \frac{1}{6^3} \neq \frac{1}{6^4} = P(Y_2 = 1)P(Y_3 = 1),$$

som betyr at de tilfeldige variablene  $Y_2$  og  $Y_3$  ikke er uavhengige av hverandre.

Sannsynligheten for at  $Y_4 = 1$  er lik sannsynligheten for å få seksere i tredje og fjerde kast,

$$P(Y_4 = 1) = P(X_3 = 6 \cap X_4 = 6) = \frac{1}{6^2},$$

og den simultane sannsynligheten for at både  $Y_2$  og  $Y_4$  er lik 1, er

$$\begin{aligned} P(Y_2 = 1 \cap Y_4 = 1) &= P(X_1 = 6 \cap X_2 = 6 \cap X_3 = 6 \cap X_4 = 6) \\ &= P(X_1 = 6)P(X_2 = 6)P(X_3 = 6)P(X_4 = 6) = \frac{1}{6^4}. \end{aligned}$$

I dette tilfellet er det likhet mellom den simultane sannsynligheten og produktet av de to marginale sannsynlighetene,  $P(Y_2 = 1)$  og  $P(Y_4 = 1)$ . Det vil si

$$P(Y_2 = 1 \cap Y_4 = 1) = \frac{1}{6^4} = \frac{1}{6^2} \cdot \frac{1}{6^2} = P(Y_2 = 1)P(Y_4 = 1),$$

hvilket betyr at  $Y_2$  og  $Y_4$  er uavhengige av hverandre.

Korrelasjonskoeffisienten mellom  $Y_2$  og  $Y_3$  er positiv, siden

$$P(Y_3 = 1|Y_2 = 1) = \frac{P(Y_2 = 1 \cap Y_3 = 1)}{P(Y_2 = 1)} = \frac{1/6^3}{1/6^2} = \frac{1}{6} > \frac{1}{6^2} = P(Y_3 = 1).$$

Med andre ord er sannsynligheten for å få poeng på tredje kast gitt at man allerede har fått poeng på andre kast, større enn den marginale sannsynligheten for å få poeng på tredje kast. Korrelasjonskoeffisienten mellom  $Y_2$  og  $Y_4$  blir null, siden de to er uavhengige tilfeldige variable.

c) Kovariansen mellom  $Y_2$  og  $Y_3$  er

$$\begin{aligned} \text{Cov}(Y_2, Y_3) &= E(Y_2 Y_3) - E(Y_2)E(Y_3) \\ &= \sum_{y_2=0}^1 \sum_{y_3=0}^1 y_2 y_3 P(Y_2 = y_2 \cap Y_3 = y_3) - P(Y_2 = 1)P(Y_3 = 1) \\ &= P(Y_2 = 1 \cap Y_3 = 1) - P(Y_2 = 1)P(Y_3 = 1) = \frac{1}{6^3} - \frac{1}{6^2} \cdot \frac{1}{6^2} \\ &= \frac{1}{6^3} - \frac{1}{6^4} = \underline{\underline{0.0039}}. \end{aligned}$$

Forventningsverdien til  $Z = Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{10}$  er

$$E(Z) = E\left(\sum_{j=2}^{10} Y_j\right) = \sum_{j=2}^{10} E(Y_j) = \sum_{j=2}^{10} P(Y_j = 1) = 9 \cdot \frac{1}{6^2} = \underline{\underline{\frac{1}{4}}},$$

og variansen er (siden  $\text{Cov}(Y_k, Y_{k+h}) = 0$  for  $|h| > 1$ )

$$\begin{aligned} \text{Var}(Z) &= \text{Var}\left(\sum_{j=2}^{10} Y_j\right) = \sum_{j=2}^{10} \text{Var}(Y_j) + 2 \sum_{j=2}^9 \text{Cov}(Y_j, Y_{j+1}) \\ &= 9\text{Var}(Y_2) + 2 \cdot 8\text{Cov}(Y_2, Y_3) \\ &= 9 \cdot \frac{1}{6^2} \left(1 - \frac{1}{6^2}\right) + 16 \cdot \left(\frac{1}{6^3} - \frac{1}{6^4}\right) \\ &= \underline{\underline{0.3048}}, \end{aligned}$$

hvor vi bruker at variansen til  $Y_2$  er

$$\text{Var}(Y_2) = E(Y_2^2) - E(Y_2)^2 = P(Y_2 = 1) - P(Y_2 = 1)^2 = \frac{1}{6^2} \left(1 - \frac{1}{6^2}\right).$$

**Oppgave 3**

- a) Siden  $P(A \cap B) = P(A) + P(B) - P(A \cup B) = 0$ , så er hendelsene disjunkte.

Siden  $P(A \cap B) = 0 \neq 0,3 \cdot 0,3 = P(A)P(B)$ , så er hendelsene ikke uavhengige.

- b) Hendelsene med sannsynligheter er tegnet inn i Venndiagrammet i Figur 4.

Sannsynligheten for olje på felt 1, dvs. hendelsen  $A$ , kan beregnes fra lov om total sannsynlighet,

$$P(A) = P(A \cap B) + P(A \cap B^c) = 0,05 + 0,15 = 0,20.$$

Hendelsen olje på felt 1 gitt olje er funnet på felt 2 kan skrives  $A|B$  og sannsynligheten beregnes fra Bayes lov,

$$\begin{aligned} P(A|B) &= \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A \cap B)}{P(B \cap A) + P(B \cap A^c)} \\ &= \frac{0,05}{0,05 + 0,1} = \frac{1}{3}. \end{aligned}$$

Her er lov om total sannsynlighet brukt for å beregne  $P(B)$ .

Sannsynligheten for hendelsen ikke olje på felt 2 kan sees fra ligningen over

$$P(B^c) = 1 - P(B) = 1 - 0,15 = 0,85.$$

Dette kan settes inn i Bayes lov for å få sannsynlighet for olje på felt 1 gitt ingen olje funnet på felt 2,

$$\begin{aligned} P(A|B^c) &= \frac{P(A \cap B^c)}{P(B^c)} \\ &= \frac{0,15}{0,85} \approx 0,176. \end{aligned}$$

Fra de tidligere beregningene ser vi at  $P(A|B) \neq P(A|B^c)$ , dermed er  $A$  og  $B$  ikke uavhengige.

- c) La  $F_A$  være den stokastiske variabelen "Fortjeneste fra felt 1". Da er

$$E[F_A] = 400P(A) - 100P(A^c) = 400 \cdot 0,20 - 100 \cdot 0,80 = 0.$$

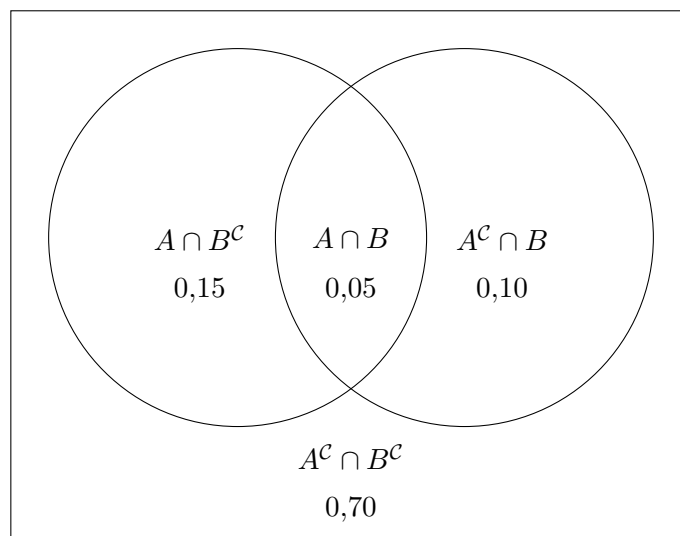
La  $F_A|B$  være den stokastiske variabelen "Fortjeneste fra felt 1 gitt funn på felt 2". Da er

$$E[F_A|B] = 400P(A|B) - 100P(A^c|B) = 400 \cdot \frac{1}{3} - 100 \cdot \frac{2}{3} = \frac{200}{3} \approx 66,67.$$

Vi begynner med de følgende to observasjonene. Forventningsverdien for hver strategi er bestemt av fortjenesten ved hver av hendelsene  $A \cap B$ ,  $A \cap B^c$ ,  $A^c \cap B$  og  $A^c \cap B^c$ , og den beste strategien er å ikke lete noe sted, å begynne å lete på felt 1 eller å begynne å lete på felt 2. Det er dermed tre muligheter vi må vurdere.

Første mulighet. Vi leter ingen steder, dette gir umiddelbart forventningsverdi 0.





Figur 4: Venndiagram med hendelsene  $A \cap B$ ,  $A \cap B^c$ ,  $A^c \cap B$  og  $A^c \cap B^c$  og tilhørende sannsynligheter påtegnet.

Andre mulighet. Vi begynner med å lete på felt 1. Dette gir oss informasjon om felt 1 og vi kan velge mellom følgende strategier for felt 2. Ikke lete uansett om det er olje på felt 1 eller ikke, lete uansett om det er olje på felt 1 eller ikke, lete hvis og bare hvis vi finner olje på felt 1 eller lete hvis og bare hvis vi ikke finner olje på felt 1. Kall de stokastiske variablene som beskriver fortjenesten ved hver av disse strategiene for henholdsvis  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  og  $F_4$ . Da har vi

$$E[F_1] = E[F_A] = 0$$

$$E[F_2] = 300P(A \cap B^c) + 1400P(A \cap B) + 900P(A^c \cap B) - 200P(A^c \cap B^c) = 65,$$

$$E[F_3] = 300P(A \cap B^c) + 1400P(A \cap B) - 100P(A^c \cap B) - 100P(A^c \cap B^c) = 35,$$

$$E[F_4] = 400P(A \cap B^c) + 400P(A \cap B) + 900P(A^c \cap B) - 200P(A^c \cap B^c) = 30.$$

Tredje mulighet. Vi begynner med å lete på felt 2. Dette gir oss informasjon om felt 2 og vi kan velge mellom følgende strategier for felt 1. Ikke lete uansett om det er olje på felt 2 eller ikke, lete uansett om det er olje på felt 2 eller ikke, lete hvis og bare hvis vi finner olje på felt 2 eller lete hvis og bare hvis vi ikke finner olje på felt 2. Kall de stokastiske variablene som beskriver fortjenesten ved hver av disse strategiene for henholdsvis  $F_5$ ,  $F_6$ ,  $F_7$  og  $F_8$ . Da har vi

$$E[F_5] = 1000P(B) - 100P(B^c) = 65$$

$$E[F_6] = 300P(A \cap B^c) + 1400P(A \cap B) + 900P(A^c \cap B) - 200P(A^c \cap B^c) = 65,$$

$$E[F_7] = -100P(A \cap B^c) + 1400P(A \cap B) + 900P(A^c \cap B) - 100P(A^c \cap B^c) = 75,$$

$$E[F_8] = 300P(A \cap B^c) + 1000P(A \cap B) + 1000P(A^c \cap B) - 200P(A^c \cap B^c) = 55.$$

Utrekningene for hver av mulighetene viser at beste strategi er å lete først i felt 2 og så lete videre i felt 1 hvis og bare hvis man finner olje på felt 2. Dette gir en forventet fortjeneste på 75 millioner.