✶ ❆✉t♦♠❛t❡❞ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥ ♦❢ ❤✐❣❤✇❛② ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ✉s✐♥❣ ◆▲P

✷

✸ ❆❇❙❚❘❆❈❚

✹ ❖♣❡♥ ❞❛t❛ st❛♥❞❛r❞s ✭❡✳❣✳ ▲❛♥❞❳▼▲✱ ❚r❛♥s❳▼▲✮ ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ✇✐❞❡❧② r❡❝♦❣♥✐③❡❞ ❛s t❤❡

✺ s♦❧✉t✐♦♥ t♦ t❤❡ ✐♥t❡r♦♣❡r❛❜✐❧✐t② ✐ss✉❡ ✐♥ ❡①❝❤❛♥❣✐♥❣ ❞✐❣✐t❛❧ ❞❛t❛ ✐♥ t❤❡ tr❛♥s♣♦rt❛t✐♦♥ s❡❝t♦r✳

✻ ❙✐♥❝❡ t❤❡s❡ s❝❤❡♠❛s str✉❝t✉r❡ r✐❝❤ s❡ts ♦❢ ❞❛t❛ ❝♦♥t❛✐♥❡rs ❝♦✈❡r✐♥❣ ❛ ✇✐❞❡ r❛♥❣❡ ♦❢ ✜❡❧❞s ❛♥❞

✼ ♣❤❛s❡s✱ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ❞❡✜♥✐t✐♦♥s ✭▼❱❉✮ ✇❤✐❝❤ ❞❡✜♥❡ s✉❜s❡ts ♦❢ s❝❤❡♠❛ ✐♥ ❛❝❝♦r❞❛♥❝❡ ✇✐t❤ t❤❡

✽ ❡①❝❤❛♥❣❡ r❡q✉✐r❡♠❡♥ts ❢♦r s♣❡❝✐✜❝ s❝❡♥❛r✐♦s ❛r❡ r❡q✉✐r❡❞✳ ❚❤❡ ♣r♦❝❡ss ♦❢ ▼❱❉ ❞❡✈❡❧♦♣♠❡♥t

✾ ✐s t✐♠❡ ❝♦♥s✉♠✐♥❣ ❛s t❤❡ ❞❡✈❡❧♦♣❡r ❤❛s t♦ ♠❛♥✉❛❧❧② s❡❛r❝❤ ❢♦r t❤❡ ❡♥t✐t✐❡s ❛♥❞ ❛ttr✐❜✉t❡s

✶✵ ♥❛♠❡s t❤❛t s❡♠❛♥t✐❝❛❧❧② ♠❛t❝❤ t♦ t❤❡ ❞❛t❛ ❡①❝❤❛♥❣❡ r❡q✉✐r❡♠❡♥ts✳ ❚❤✐s ♣❛♣❡r ♣r❡s❡♥t ❛

✶✶ ❢r❛♠❡✇♦r❦ t❤❛t ❝❛♥ ❛✉t♦♠❛t✐③❡ t❤❡ ♣r♦❝❡ss ♦❢ ♠❛♣♣✐♥❣ ❞❛t❛ ❧❛❜❡❧s ❜❛s❡❞ ♦♥ t❤❡✐r s❡♠❛♥t✐❝

✶✷ s✐♠✐❧❛r✐t②✳ ❚❤❡ ❢r❛♠❡✇♦r❦ ❡♠♣❧♦②s ❛♥ ✉♥s✉♣❡r✈✐s❡❞ ♠❛❝❤✐♥❡ ❧❡❛r♥✐♥❣ t♦ ❧❡❛r♥ t❤❡ s❡♠❛♥t✐❝

✶✸ r❡❧❛t❡❞♥❡ss ❜❡t✇❡❡♥ t❡❝❤♥✐❝❛❧ ❝♦♥❝❡♣ts ❢r♦♠ ❛♥ ✉♥❧❛❜❡❧❡❞ ❤✐❣❤✇❛② r❡❧❛t❡❞ ❝♦r♣♦r❛ ❛s t❤❡

✶✹ ✐♥♣✉t ❞❛t❛✳ ❚❤❡ ✐♥♣✉t ❝♦r♣✉s ✐♥❝❧✉❞❡s ✶✳✸ ♠✐❧❧✐♦♥ ✇♦r❞s ♠❛✐♥❧② ❝♦❧❧❡❝t❡❞ ❢r♦♠ r♦❛❞✇❛②

✶✺ ❞❡s✐❣♥ ❣✉✐❞❡❧✐♥❡s ❛❝r♦ss ❯✳❙✳ ❙t❛t❡s✱ ◆❡✇❩❡❛❧❛♥❞ ❛♥❞ ❆✉str❛❧✐❛✳ ❚❤❡ ♠♦❞❡❧ ✇✐❧❧ ❜❡ t❡st❡❞

✶✻ ❛♥❞ ❡✈❛❧✉❛t❡❞ ❜② ❝♦♠♣❛r✐♥❣ t❤❡ ♠❛♣♣✐♥❣ r❡s✉❧ts ♣❡r❢♦r♠❡❞ ❜② ❝♦♠♣✉t❡r ❛♥❞ ❡①♣❡rts✳

✶✼ ❑❡②✇♦r❞s✿ ❖♥t♦❧♦❣②✱ ◆▲P✱ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇✱ ✐♥t❡r♦♣❡r❛❜✐❧✐t②✱ ❞❛t❛ ❡①❝❤❛♥❣❡✱ ❤✐❣❤✇❛②

✶✽ ■◆❚❘❖❉❯❈❚■❖◆

✶✾ ◆❡✉tr❛❧ ❞❛t❛ st❛♥❞❛r❞s ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ✇✐❞❡❧② ❛❝❝❡♣t❡❞ ❛s t❤❡ s♦❧✉t✐♦♥ t♦ t❤❡ ✐♥t❡r♦♣❡r❛❜✐❧✐t②

✷✵ ✐ss✉❡ ✐♥ t❤❡ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥ ✐♥❞✉str②✳ ❙❡✈❡r❛❧ ♦♣❡♥ st❛♥❞❛r❞s ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ♣r♦♣♦s❡❞✱ r❛♥❣✐♥❣ ❢r♦♠

✷✶ s♦❧❡❧② r❡❧②✐♥❣ ♦♥ s②♥t❛❝t✐❝s ✉s✐♥❣ ❊①♣r❡ss ▼♦❞❡❧✐♥❣ ▲❛♥❣✉❛❣❡ s✉❝❤ ❛s ■♥❞✉str② ❋♦✉♥❞❛t✐♦♥

✷✷ ❈❧❛ss❡s ✭■❋❈✮ ✭❜✉✐❧❞✐♥❣❙▼❆❘❚ ✷✵✶✺✮ ♦r ▲❛♥❞❳▼▲ ✭❧❛♥❞①♠❧✳♦r❣ ✷✵✶✺✮ t♦ s❡♠❛♥t✐❝s✲r✐❝❤

✷✸ ♦♥t♦❧♦❣✐❡s s✉❝❤ ❛s ❡✲❈❖●◆❖❙ ✭▲✐♠❛ ❡t ❛❧✳ ✷✵✵✺✮✳ ❚❤❡s❡ st❛♥❞❛r❞✐③❡❞ ❞❛t❛ ♠♦❞❡❧s ❝♦♥s✐st

✷✹ ♦❢ r✐❝❤ s❡ts ♦❢ ❞❛t❛ ❡❧❡♠❡♥ts ❝♦✈❡r✐♥❣ ✈❛r✐♦✉s ❜✉s✐♥❡ss ♣r♦❝❡ss❡s ❛♥❞ ❞✐s❝✐♣❧✐♥❡s✳ ❍♦✇❡✈❡r✱

✷✺ s✐♥❝❡ ❛ s♣❡❝✐✜❝ ❞❛t❛ ❡①❝❤❛♥❣❡ s❝❡♥❛r✐♦ ♥❡❡❞s ♦♥❧② ❛ s✉❜s❡t ♦❢ ❞❛t❛✱ ❤❡♥❝❡ ♥❡✉tr❛❧ ❞❛t❛

✷✻ st❛♥❞❛r❞s ❛❧♦♥❡ ❛r❡ ✐♥s✉✣❝✐❡♥t t♦ ❢❛❝✐❧✐t❛t❡ s❡❛♠❧❡ss ❞✐❣✐t❛❧ ❞❛t❛ ❡①❝❤❛♥❣❡ ❛♠♦♥❣ ♣r♦❥❡❝t

✷✼ st❛❦❡❤♦❧❞❡rs ✭❋r♦❡s❡ ✷✵✵✸❀ ❊❛st ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✷✮✳ ❚❤❡r❡ ✐s ❛ ♥❡❡❞ ❢♦r t❤❡ ❞❡✜♥✐t✐♦♥ ♦❢ s✉❜s❡t

✷✽ ♦❢ ❞❛t❛ ❢♦r s♣❡❝✐✜❝ tr❛♥s❛❝t✐♦♥s✳ ❚❤❡ ❛✈❛✐❧❛❜✐❧✐t② ♦❢ t❤❡s❡ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇s ✇✐❧❧ ✉♥❞❡r♣✐♥ t❤❡

✷✾ ❡①tr❛❝t✐♦♥ ♦❢ ❞❛t❛ ❢r♦♠ ❝♦♠♣❧✐❝❛t❡❞ s❡ts ♦❢ ❞❛t❛ ❣❡♥❡r❛t❡❞ ❢r♦♠ t❤❡ ❆❊❈ ✐♥❞✉str②✳

✸✵ ❚♦ ❛❞❞r❡ss t❤❡ ❛❜♦✈❡ ❞❡♠❛♥❞✱ ❛ ❝♦♥s✐❞❡r❛❜❧❡ ❛♠♦✉♥t ♦❢ r❡s❡❛r❝❤ ❡✛♦rts ❤❛s ❜❡❡♥ ♠❛❞❡

✸✶ ✐♥ ❜♦t❤ t❤❡ ❜✉✐❧❞✐♥❣ ❛♥❞ tr❛♥s♣♦rt❛t✐♦♥ s❡❝t♦rss ✇✐t❤ t❤❡ s❛♠❡ ❛♠❜✐t✐♦♥ t♦ ❞❡✜♥❡ s✉❜s❡ts

✸✷ ♦❢ ❞❛t❛ ❢♦r ✈❛r✐♦✉s ❜✉s✐♥❡ss ♣r♦❝❡ss❡s✳ ❖♥❡ ♦❢ t❤❡s❡ ❡✛♦rts ✐s t❤❡ ❈♦♥str✉❝t✐♦♥ t♦ ❖♣❡r❛t✐♦♥

✸✸ ❇✉✐❧❞✐♥❣ ■♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ❊①❝❤❛♥❣❡ ✭❈♦❜✐❡✮ ♣r♦❥❡❝t ✭❊❛st ✷✵✵✼✮ ✇❤✐❝❤ ✐s ♥♦✇ ❜❡❝♦♠❡s ❛ ♣❛rt ♦❢

✸✹ ❛ ✈❛r✐❡t② ♦❢ ♥❛t✐♦♥❛❧ st❛♥❞❛r❞s ❛♥❞ ❣✉✐❞❧✐♥❡s ❢♦r ♣r♦❥❡❝ts ✉s✐♥❣ ❇✉✐❧❞✐♥❣ ■♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ▼♦❞❡❧✲

✸✺ ✐♥❣ ✭❇■▼✮✱ ❢♦r ✐♥st❛♥❝❡ ❯❑ ❈❖❇✐❡ ✷✳✹ ✭◆✐s❜❡t ✷✵✶✷✮✱ ◆❛t✐♦♥❛❧ ❇■▼ ❙t❛♥❞❛r❞✲❯♥✐t❡❞ ❙t❛t❡s

✸✻ ❱❡rs✐♦♥ ✸ ✭◆❇■▼❙✲❯❙✮ ✭♦❢ ❇✉✐❧❞✐♥❣ ❙❝✐❡♥❝❡s ✭◆■❇❙✮ ✷✵✶✺✮✱ ●❙❆✲❇■▼ ●✉✐❞❡ ✭✭●❙❆✮ ✷✵✶✶✮✳

✸✼ ❚❤✐s r❡s❡❛r❝❤ ✐❞❡♥t✐✜❡❞ ■❋❈ ❞❛t❛ ❡❧❡♠❡♥ts t❤❛t ❛r❡ ❣❡♥❡r❛t❡❞ ✐♥ t❤❡ ❞❡s✐❣♥ ❛♥❞ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥

✸✽ ♣❤❛s❡s r❡q✉✐r❡❞ t♦ ❜❡ tr❛♥s❢❡rr❡❞ t♦ t❤❡ ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t ♣❤❛s❡✳ ❚❤❡ ❝✐✈✐❧ s❡❝t♦r ❛❧s♦ ✐s

✸✾ ❣♦✐♥❣ ♦♥ t❤✐s tr❡♥❞ ✇✐t❤ s❡✈❡r❛❧ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇s ♦❢ t❤❡ ▲❛♥❞①♠❧ s❤❡♠❛ ❤❛s ❜❡❡♥ ❜❡✐♥❣ ❞❡✜♥❡❞✳

✹✵ ❚❤❡ ❡①❛♠♣❧❡s ♦❢ t❤❡s❡ ✐♥❝❧✉❞❡ t❤❡ ■♥❢r❛▼♦❞❡❧ ♣r♦❥❡❝t ❝❛rr✐❡❞ ❜② t❤❡ ❚❡❝❤♥✐❝❛❧ ❘❡s❡❛r❝❤

✹✶ ❈❡♥t❡r ♦❢ ❋✐♥❧❛♥❞ ❛✐♠s t♦ s♣❡❝✐❢② s✉❜s❡ts ♦❢ ▲❛♥❞❳▼▲ s❝❤❡♠❛ ❢♦r s❡✈❡r❛❧ tr❛♥s♣♦rt❛t✐♦♥

✹✷ ♣r♦❥❡❝ts ❛♥❞ t❤✐s s♣❡❝✐✜❝❛t✐♦♥ ❤❛s ❜❡❝♦♠❡ t❤❡ ❋✐♥✐s❤ ♥❛t✐♦♥❛❧ ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥ s♣❡❝✐✜❝❛t✐♦♥ ✭✐♥✲

✹✸ ❢r❛♠♦❞❡❧✳✜ ✷✵✶✹✮✳ ❊✈❡♥ t❤♦✉❣❤ ❛ ❝♦♥s✐❞❡r❛❜❧❡ ♥✉♠❜❡r ♦❢ r❡s❡❛r❝❤ ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ♠❛❞❡✱ ❜✉t t❤❡s❡

✹✹ ❛r❡ st✐❧❧ ❧✐♠✐t❡❞ t♦ ❛ ❧❛r❣❡ ❞❡♠❛♥❞ ❢r♦♠ t❤❡ ✐♥❞✉str②✳ ❚❤✐s ✐s ❜❡❝❛✉s❡ t❤❡ ❝✉rr❡♥t ♠❡t❤♦❞

✹✺ ❢♦r ❞❡✈❡❧♦♣✐♥❣ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ❞❡✜♥✐t✐♦♥ ✐s ❜❛s❡❞ ♦♥ ❛ ♠❛♥✉❛❧ ❜❛s✐❝ ✇❤✐❝❤ ✐s t✐♠❡ ❝♦♥s✉♠✐♥❣

✹✻ ✭❱❡♥✉❣♦♣❛❧ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✷❀ ❊❛st♠❛♥ ✷✵✶✷❀ ❍✉ ✷✵✶✹✮✳ ❚❤❡ ❜✉s✐♥❡ss ♣r♦❝❡ss❡s ❛r❡ ❞②♥❛♠✐❝ ❛♥❞

✹✼ t❡♥❞ t♦ ❝❤❛♥❣❡ ♦✈❡r t✐♠❡✳ ❚♦ ❛❞❛♣t t♦ t❤❡ ❝❤❛♥❣❡s ❢r♦♠ ✐♥❞✉str② ♣r❛❝t✐❝❡s✱ t❤❡s❡ ♠♦❞❡❧

✹✽ ✈✐❡✇ ❛r❡ r❡q✉✐r❡❞ t♦ ❜❡ t❛✐❧♦r❡❞✳ ❚❤❡r❡❢♦r❡✱ t❤❡r❡ ✐s ❛ ♥❡❡❞ t♦ ❝❤❛♥❣❡ t❤❡ ❝✉rr❡♥t ♣r❛❝t✐❝❡ ♦❢

✹✾ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ❞❡✜♥✐t✐♦♥ ❢r♦♠ t❤❡ ❛❞✲❤♦❝ ❛♣♣r♦❛❝❤ t♦ ❛ ♠♦r❡ r✐❣♦r♦✉s ♠❡t❤♦❞♦❧♦❣② ✭❱❡♥✉❣♦♣❛❧

✺✵ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✷✮✳

✺✶ ❚♦ ❛❞❞r❡ss t❤❡ ❛❜♦✈❡ ✐ss✉❡✱ t❤✐s ♣❛♣❡r ❛✐♠s t♦ ♣r♦♣♦s❡ ❛ ♥♦✈❡❧ ♠❡t❤♦❞ t❤❛t ❛❧❧♦✇s ❢♦r

✺✷ ❛✉t♦♠❛t❡❞ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥ ♦❢ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇s ❢r♦♠ ❛ ❤✐❣❤✇❛② ❞❛t❛ s❝❤❡♠❛✳ ❚❤❡ ♣r♦♣♦s❡❞ ❢r❛♠❡✇♦r❦

✺✸ ❛r❡ ❝♦♥s✐st❡❞ ♦❢ t❤❡ ❢♦❧❧♦✇✐♥❣ t✇♦ ❦❡② ♠♦❞✉❧❡s✳ ❚❤❡ ✜rst ♠♦❞✉❧❡ ❡♠♣❧♦②s ♥❛t✉r❛❧ ❧❛♥❣✉❛❣❡

✺✹ ♣r♦❝❡ss✐♥❣ ✭◆▲P✮ t❡❝❤♥✐q✉❡s t♦ r❡❛❞ ❞♦♠❛✐♥✲s♣❡❝✐✜❝ ❣✉✐❞❡❧✐♥❡s ❛♥❞ ❡①tr❛❝t ❞❛t❛ r❡q✉✐r❡✲

✺✺ ♠❡♥ts✳ ■♥ t❤❡ s❡❝♦♥❞ ♠♦❞✉❧❡✱ ❛ ♠❛t❝❤✐♥❣ ❛❧❣♦r✐t❤♠ ✇❛s ❞❡♣❧♦②❡❞ t♦ ♠❛t❝❤ t❤❡ ❡①tr❛❝t❡❞

✺✻ ❞❛t❛ r❡q✉✐r❡♠❡♥t ❡♥t✐t✐❡s t♦ t❤❡ ♠❡r❣❡❞ ❆❊❈ ✭❛r❝❤✐t❡❝t✱ ❡♥❣✐♥❡❡r✐♥❣ ❛♥❞ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥✮ ♦♥✲

✺✼ t♦❧♦❣② t❤❛t ❞❡s❝r✐❜✐♥❣ t❤❡ ❞❛t❛ ❣❡♥❡r❛t❡❞ ✐♥ t❤❡ ✉♣ str❡❛♠ ♣❤❛s❡s✳ ❚❤❡ ❝♦r❡ ❝♦♠♣♦♥❡♥t ♦❢

✺✽ t❤❡ ♠❛t❝❤✐♥❣ ❛❧❣♦r✐t❤♠ ✐s t❤❡ ♠❛❝❤✐♥❡ ❧❡❛r♥✐♥❣ ❜❛s❡❞ ❞✐s❛♠❜✐❣✉❛t♦r ✇❤✐❝❤ ✇❛s tr❛✐♥❡❞ t♦

✺✾ ❛✉t♦♠❛t✐❝❛❧❧② ✉♥❞❡rst❛♥❞ s❡♥s❡s ♦❢ t❡❝❤♥✐❝❛❧ t❡r♠s ❛♥❞ ♠❛t❝❤ t❡r♠s ❜❛s❡❞ ♦♥ t❤❡✐r s❡♠❛♥✲

✻✵ t✐❝s ✐♥st❡❛❞ ♦❢ t❤❡✐r ♣✉r❡ ❧❛❜❡❧s✳ ❚❤❡ tr❛✐♥✐♥❣ ❞❛t❛ s❡t ✐s ❛ ❤✐❣❤✇❛② t❡①t ❝♦r♣✉s ✇❤✐❝❤ ✇❛s

✻✶ ❝♦❧❧❡❝t❡❞ ❢r♦♠ ❛ ♥✉♠❜❡r ♦❢ ❞♦❝✉♠❡♥ts ❢r♦♠ ♠✉❧t✐♣❧❡ s♦✉r❝❡s s✉❝❤ ❛s ❲✐❦✐♣❡❞✐❛✱ t❡①t❜♦♦❦s✱

✻✷ ❢❡❞❡r❛❧ ❛♥❞ st❛t❡ ❤✐❣❤✇❛② ❡♥❣✐♥❡❡r✐♥❣ ♠❛♥✉❛❧s✱ r❡s❡❛r❝❤ r❡♣♦rts ❢♦r ❛❝r♦ss ♣r♦❥❡❝t ♣❤❛s❡s

✻✸ ✐♥❝❧✉❞✐♥❣ ❞❡s✐❣♥✱ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥ ❛♥❞ ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t✳

✻✹ ▲■❚❊❘❆❚❯❘❊ ❘❊❱■❊❲

✻✺ ■♥ ♦r❞❡r t♦ ❛❝❤✐❡✈❡ t❤❡ r❡s❡❛r❝❤ ♦❜❥❡❝t✐✈❡s✳ ❆ ❤②❜r✐❞ ❛♣♣r♦❛❝❤ ✇❤✐❝❤ ❝♦♠❜✐♥❡s ❛ s❡r✐❡s ♦❢

✻✻ t❡❝❤♥✐q✉❡s r❡❧❛t❡❞ t♦ t❡①t ❛♥❛❧②s✐s✱ ♦♥t♦❧♦❣② ❧❡❛r♥✐♥❣ ❛♥❞ ♦♥t♦❧♦❣② ♠❛t❝❤✐♥❣ ✇❛s ❡♠♣❧♦②❡❞✳

✻✼ ❊❛❝❤ t❡❝❤♥✐q✉❡ ✐s ♠❡❛♥t t♦ s✉♣♣♦rt ❡❛❝❤ ♣❤❛s❡ ♦❢ t❤❡ ♣r♦♣♦s❡❞ ♠❡t❤♦❞♦❧♦❣②✳ ❚❤❡ ❞❡t❛✐❧s

✻✽ ♦❢ r❡s❡❛r❝❤ ♠❡t❤♦❞♦❧♦❣② ✇✐❧❧ ❜❡ ♣r❡s❡♥t❡❞ ✐♥ t❤❡ s❡❝t✐♦♥ ✸ ❜❡❧♦✇✳ ❚❤✐s s❡❝t✐♦♥ ♣r❡s❡♥ts

✻✾ ❛ ❜r✐❡❢ ✐♥tr♦❞✉❝t✐♦♥ t♦ t❤❡ t❡❝❤♥✐q✉❡s ❞❡♣❧♦②❡❞ ✐♥ t❤❡ r❡s❡❛r❝❤ ❢r❛♠❡✇♦r❦✱ ✐♥❝❧✉❞✐♥❣✿ ✭✶✮

✼✵ ♥❛t✉r❛❧ ❧❛♥❣✉❛❣❡ ♣r♦❝❡ss✐♥❣ t❡❝❤♥✐q✉❡s✱ ✭✷✮ ♦♥t♦❧♦❣② ❧❡❛r♥✐♥❣ ❛♥❞ ✭✸✮ ♦♥t♦❧♦❣② ♠❛t❝❤✐♥❣✳

✼✶ ❚❤✐s s❡❝t✐♦♥ t❤❡♥ ♣r❡s❡♥ts t❤❡ st❛t❡✲♦❢✲t❤❡✲❛rt r❡❣❛r❞✐♥❣ t❤❡ ✉s❡ ♦❢ ◆▲P ✐♥ t❤❡ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥

✼✷ ✐♥❞✉str②✳

✼✸ ❇r✐❡❢ ✐♥tr♦❞✉❝t✐♦♥ t♦ ◆❛t✉r❛❧ ▲❛♥❣✉❛❣❡ Pr♦❝❡ss✐♥❣

✼✹ ◆▲P t❛s❦s ❛♥❞ ♠❡t❤♦❞s

✼✺ ◆▲P ✐s ❝♦❧❧❡❝t✐♦♥ ♦❢ t❡❝❤♥✐q✉❡s t❤❛t ❝❛♥ ❛♥❛❧②③❡ ♥❛t✉r❛❧ ❧❛♥❣✉❛❣❡ ❧✐❦❡ t❡①t ❛♥❞ s♣❡❡❝❤✳

✼✻ ❚❤❡ ♠❛❥♦r ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥s ♦❢ ◆▲P ✐♥❝❧✉❞❡ tr❛♥s❧❛t✐♦♥✱ ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ❡①tr❛❝t✐♦♥✱ ♦♣✐♥✐♦♥ ♠✐♥✲

✼✼ ✐♥❣ ✭❈❛♠❜r✐❛ ❛♥❞ ❲❤✐t❡ ✷✵✶✹✮✳ ❚❤❡s❡ ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥s ❛r❡ s✉♣♣♦rt❡❞ ❜② t❤❡ ❝♦♠❜✐♥❛t✐♦♥ ♦❢

✼✽ s❡✈❡r❛❧ t❡❝❤♥✐q✉❡s s✉❝❤ ❛s ◆❛♠❡❞ ❊♥t✐t② ❘❡❝♦❣♥✐t✐♦♥ ✭◆❊❘✮✱ P❛rt✲♦❢✲ ❙♣❡❡❝❤ ✭P❖❙✮ t❛❣✲

✼✾ ❣✐♥❣ ✭❚♦✉t❛♥♦✈❛ ❡t ❛❧✳ ✷✵✵✸❀ ❈✉♥♥✐♥❣❤❛♠ ❡t ❛❧✳ ✷✵✵✷✮✱ t♦❦❡♥✐③❛t✐♦♥ ✭♦r ✇♦r❞ s❡❣♠❡♥t❛t✐♦♥✮

✽✵ ✭❲❡❜st❡r ❛♥❞ ❑✐t ✶✾✾✷❀ ❩❤❛♦ ❛♥❞ ❑✐t ✷✵✶✶✮✱ r❡❧❛t✐♦♥ ❡①tr❛❝t✐♦♥✱ s❡♥t❡♥❝❡ ♣❛rs✐♥❣✱ ✇♦r❞

✽✶ s❡♥s❡ ❞✐s❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥ ✭▲❡s❦ ✶✾✽✻❀ ❨❛r♦✇s❦② ✶✾✾✺❀ ◆❛✈✐❣❧✐ ✷✵✵✾✮✱ ❡t❝✳ ■♥ t❤❡ ❛r❡❛ ♦❢ ◆▲P

✽✷ r❡s❡❛r❝❤ t❤❡r❡ ❤❛s ❜❡❡♥ t✇♦ tr❡♥❞s✳ ❚❤❡ ✜rst tr❡♥❞ ✐s t❤❡ tr❛♥s✐t✐♦♥ ❢r♦♠ s②♥t❛①✲❜❛s❡❞ ◆▲P

✽✸ t♦ s❡♠❛♥t✐❝ ◆▲P❀ ❛♥❞ t❤❡ s❡❝♦♥❞ ♦♥❡ ✐s t❤❡ s❤✐❢t ❢r♦♠ r✉❧❡ ❜❛s❡❞ t♦ st❛t✐st✐❝❛❧ ♠❛❝❤✐♥❡

✽✹ ❧❡❛r♥✐♥❣ ❜❛s❡❞ ♠❡t❤♦❞s✳ ✭❝✐t❛t✐♦♥ ♥❡❡❞❡❞ ❛♥❞ ♠♦r❡ ❞❡t❛✐❧s ❛❜♦✉t ◆▲P ♠❡t❤♦❞♦❧♦❣✐❡s✮

✽✺ ❖♥t♦❧♦❣② ❧❡❛r♥✐♥❣ ❢r♦♠ t❡①t

✽✻ ❖♥t♦❧♦❣② ❤❛s ❜❡❡♥ ✇✐❞❡❧② ❛❝❝❡♣t❡❞ ❜② t❤❡ ❞❛t❛ ❡①❝❤❛♥❣❡ ❝♦♠♠✉♥✐t② ❛s ❛ s♦❧✉t✐♦♥ t♦ t❤❡

✽✼ ✐♥t❡r♦♣❡r❛❜✐❧✐t② ♣r♦❜❧❡♠ ✭❲♦♥❣ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✷✮✳ ❚❤❡ ♣r♦❝❡ss ♦❢ ❞❡✈❡❧♦♣✐♥❣ ♦♥t♦❧♦❣✐❡s ✐s ❝❛❧❧❡❞

✽✽ ❖♥t♦❧♦❣② ▲❡❛r♥✐♥❣ ✭❖▲✳✮ ❖♥t♦❧♦❣② ✐s ❛ s❤❛r❡❞ ❦♥♦✇❧❡❞❣❡ ♠♦❞❡❧ t❤❛t ♣r♦✈✐❞❡s t❤❡ ❢♦r♠❛❧

✽✾ ❛♥❞ ♠❛❝❤✐♥❡ r❡❛❞❛❜❧❡ ♣r❡s❝r✐♣t✐♦♥ ♦❢ ❛ ❞♦♠❛✐♥✳ ❍❡♥❝❡ ✐t ✐s t❤❡ ❝r✐t✐❝❛❧ ❝♦♠♣♦♥❡♥t ❢♦r ❛♥②

✾✵ s❡♠❛♥t✐❝ ❛♥❛❧②t✐❝s ♣r♦❝❡ss❡s✳ ❍♦✇❡✈❡r✱ t❤❡ ♣r♦❝❡ss ♦❢ ❞❡✈❡❧♦♣♠❡♥t ♦❢ ♦♥t♦❧♦❣② ✐s st✐❧❧ ❜❛s❡❞

✾✶ ✉♣♦♥ ❛ ♠❛♥✉❛❧ ❜❛s✐❝ ✇❤✐❝❤ ✐s t✐♠❡ ❝♦♥s✉♠✐♥❣ ✭❲♦♥❣ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✷✮✳ ❚❤❡ ❝✉rr❡♥t ♠❡t❤♦❞s

✾✷ ✐♥❝❧✉❞❡ t❤❡ ✉s❡ ♦❢ ❛ s♦❢t✇❛r❡ ✐♥t❡r❢❛❝❡ t♦ ♠❛♥✉❛❧❧② tr❛♥s❢❡r ❦♥♦✇❧❡❞❣❡ t♦ ♠❛❝❤✐♥❡ r❡❛❞❛❜❧❡

✾✸ ❢♦r♠❛t ❛♥❞ s✉♣♣♦rt r❡❛s♦♥✐♥❣ ♣r♦❝❡ss✳ ✭❙♦♠❡ ❝♦st ❡✈✐❞❡♥❝❡ ✐s ♥❡❡❞❡❞✮

✾✹ ■♥ ❛tt❡♠♣t t♦ ❛❞❞r❡ss t❤❡ ❜♦tt❧❡♥❡❝❦ ♦❢ ♦♥t♦❧♦❣② ❛✈❛✐❧❛❜✐❧✐t②✱ ❛ s✐❣♥✐✜❝❛♥t ❛♠♦✉♥t ♦❢ r❡✲

✾✺ s❡❛r❝❤ ❡✛♦rts ❤❛s ❜❡❡♥ ❝♦♥❞✉❝t❡❞ ❛♠✐♥❣ t♦ ❛✉t♦♠✐③❡ t❤❡ ♣r♦❝❡ss ♦❢ ♦♥t♦❧♦❣② ❞❡✈❡❧♦♣♠❡♥t✳

✾✻ ❙✐♥❡ ♠♦st t❤❡ ✇♦r❧❞ ❦♥♦✇❧❡❞❣❡ ❛r❡ ♣r❡s❡♥t❡❞ ✐♥ t❡①t ❞♦❝✉♠❡♥ts ✭❲♦♥❣ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✷✮✱ ❛ ❧❛r❣❡

✾✼ ♣❛rt ♦❢ t❤❡♠ ❛✈❛✐❧❛❜❧❡ ♦♥❧✐♥❡✱ ❡✛♦rts ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ✉♥❞❡rt❛❦❡♥ t♦ ❛✉t♦♠❛t✐❝❛❧❧② ❢♦r♠✉❧❛t❡ ❦♥♦✇❧✲

✾✽ ❡❞❣❡ ❢r♦♠ t❡①t s♦✉r❝❡s t♦ ❛ ♠❛❝❤✐♥❡✲r❡❛❞❛❜❧❡ ♠❛♥♥❡r✳ ❚❤❡s❡ r❡s❡❛r❝❤ ❤❛✈❡ ❡♠♣❧♦②❡❞ ◆▲P

✾✾ t❡❝❤♥✐q✉❡s t♦ ❛♥❛❧②③❡ t❡①t ❛♥❞ ❡①tr❛❝t ❝♦♥❝❡♣ts✱ r❡❧❛t✐♦♥s✱ ❛①✐♦♠s t♦ ❝♦♥str✉❝t ♦♥t♦❧♦❣②✳

✶✵✵

✶✵✶

✶✵✷

✶✵✸

✶✵✹

❖♥t♦❧♦❣② ♠❛t❝❤✐♥❣

■♥ ❝✉rr❡♥t ♣r❛❝t✐❝❡s✱ ❞❛t❛ ✐♥♣✉t t♦ s✉♣♣♦rt ❛ ❝❡rt❛✐♥ ❞❛t❛ ❛♥❛❧②t✐❝s ♣r♦❝❡ss ✉s✉❛❧❧② ❝♦♠❡

❢r♦♠ ♠✉❧t✐♣❧❡ r❡s♦✉r❝❡s✳ ❚❤❡s❡ ❞❛t❛ ❛r❡ st♦r❡❞ ✐♥ ❞✐✛❡r❡♥t ❢♦r♠❛ts ❛♥❞ ❛r❡ ❜❛s❡❞ ✉♣♦♥

❞✐✛❡r❡♥t ✈♦❝❛❜✉❧❛r✐❡s s②st❡♠s✳ ❚❤❡s❡ ✐♥❝♦♥s✐st❡♥❝② r❡str✐❝ts t❤❡ ❛❜✐❧✐t② ♦❢ ❞❛t❛ ✐♥t❡❣r❛t✐♦♥

❛♥❞ ❧✐❦❡❧② ❧❡❛❞s t♦ s❡♠❛♥t✐❝ ❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥✳ ■♥ t❤❡ ♦♥t♦❧♦❣② ❜❛s❡❞ ❞❛t❛ ✐♥t❡❣r❛t✐♦♥ ❛♥❞ ❡①✲

✶✵✺

✶✵✻

✶✵✼

✶✵✽

✶✵✾

✶✶✵

✶✶✶

✶✶✷

✶✶✸

✶✶✹

✶✶✺

✶✶✻

✶✶✼

✶✶✽

✶✶✾

❝❤❛♥❣❡ ♠❡❝❤❛♥✐s♠✱ ♦♥t♦❧♦❣② s❡r✈❡s ❛s ❛ ❞♦♠❛✐♥ ❞❛t❛ s❝❤❡♠❛✳ ❚♦ ❛❧❧♦✇ ❢♦r ❞❛t❛ ❡①❝❤❛♥❣❡ ♦r

✐♥t❡❣r❛t✐♦♥✱ t❛r❣❡t ❛♥❞ s♦✉r❝❡ ♦♥t♦❧♦❣② ❛r❡ r❡q✉✐r❡❞ t♦ ❜❡ ♠❛t❝❤❡❞ t♦ ❡❛❝❤ ♦t❤❡r✳ ▼❛t❝❤✐♥❣

✐s t❤❡ ♣r♦❝❡ss ♦❢ ✜♥❞ ❝♦rr❡s♣♦♥❞✐♥❣ r❡❧❛t✐♦♥s❤✐♣s ✭ ❡✳❣✳ s❛♠❡❆❙✱ ✐s❆✱ ❡t❝✳ ✮ ❛♠♦♥❣ s❡♠❛♥✲ t✐❝ ❡♥t✐t✐❡s ✭❝♦♥❝❡♣t✱ ✇♦r❞s✱ s❡♥t❡♥❝❡s✱ ✐♥st❛♥❝❡s✱ ❡t❝✳✮ ❜❡t✇❡❡♥ t❤❡s❡ ♦♥t♦❧♦❣✐❡s ✭❍❛r✐s♣❡

❡t ❛❧✳ ✷✵✶✺✮✳ ❚❤❡s❡ r❡❧❛t✐♦♥s ❛r❡ ❢♦✉♥❞ t❤❛♥❦s t♦ t❤❡ s❡♠❛♥t✐❝ ♠❡❛s✉r❡s ✇❤✐❝❤ ❞❡t❡r♠✐♥❡ t❤❡ ❞❡❣r❡❡ ♦❢ r❡❧❛t❡❞♥❡ss ❜❡t✇❡❡♥ ❝♦♥❝❡♣ts ✭❍❛r✐s♣❡ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✺✮✳

❙❡♠❛♥t✐❝ ♠❡❛s✉r❡♠❡♥ts ❝❛♥ ❜❡ ❝❧❛ss✐✜❡❞ ✐♥t♦ t✇♦ ❣r♦✉♣s t❤❛t ❛r❡ ❝♦r♣✉s ❜❛s❡❞ ❛♥❞ ❝♦♥✲ t❡①t ❜❛s❡❞ ❛♣♣r♦❛❝❤❡s ✭❞✐str✐❜✉t✐♦♥❛❧ ♠❡❛s✉r❡s ❛♥❞ ❦♥♦✇❧❡❞❣❡ ❜❛s❡❞ ♠❡❛s✉r❡s✮ ✭❍❛r✐s♣❡

❡t ❛❧✳ ✷✵✶✸✮ ✭♦t❤❡r ❝✐t❛t✐♦♥ ♥❡❡❞❡❞✮✳ ❚❤❡ ❝♦r♣✉s ❜❛s❡❞ ❛♣♣r♦❛❝❤ r❡❧✐❡s ♦♥ t❤❡ ♣r❡❞❡✜♥❡❞ ❧❡①✲

✐❝♦♥s ✇❤✐❝❤ ♣r♦✈✐❞❡ str✉❝t✉r❡❞ ✈♦❝❛❜✉❧❛r✐❡s✳ ❖♥❡ ♦❢ t❤❡ ♣♦♣✉❧❛r ♠❡❛s✉r❡♠❡♥ts ♦❢ s✐♠✐❧❛r✐t②

❜❡t✇❡❡♥ t✇♦ ❝♦♥❝❡♣ts ✐s ♠❡❛s✉r❡ t❤❡ ❞✐st❛♥❝❡ ❜❡t✇❡❡♥ ❝♦♥❝❡♣ts ✐♥ t❤❡ ❧❡①✐❝❛❧ ❤✐❡r❛r❝❤②✳ ❚❤❡ s❤♦rt❡st ♣❛t❤ ❜❡t✇❡❡♥ ❝♦♥❝❡♣ts ♣r❡s❡♥ts t❤❡ r❡❧❛t❡❞♥❡ss ❜❡t✇❡❡♥ t❤❡♠✳ ❚❤❡ s❡❝♦♥❞ ❛♣♣r♦❛❝❤

✐s ❜❛s❡❞ ♦♥ t❤❡ ❝♦♥t❡①t ♦❢ t✇♦ ❝♦♥❝❡♣ts✳ ❚❤✐s ❛♣♣r♦❛❝❤ ❡❧✐♠✐♥❛t❡s t❤❡ r❡❧✐❛♥❝❡ ♦♥ t❤❡ ❛✈❛✐❧✲

❛❜✐❧✐t② ♦❢ ❧❡①✐❝♦♥ ✇❤✐❝❤ ♠❛② ♠♦t ❛✈❛✐❧❛❜❧❡✳ ■♥ t❤✐s ❛♣♣r♦❛❝❤✱ t✇♦ ❝♦♥❝❡♣ts ❛r❡ ❝♦♥s✐❞❡r❡❞ t♦

❜❡ s✐♠✐❧❛r ✐❢ t❤❡② ❤❛✈❡ t❤❡ s❛♠❡ ❝♦♥t❡①t ✭s✉rr♦✉♥❞✐♥❣ ❝♦♥❝❡♣ts✮ ✐♥ ❛ ❝♦r♣✉s ♦❢ t❡①t✳

✶✷✵

✶✷✶

✶✷✷

✶✷✸

✶✷✹

✶✷✺

✶✷✻

✶✷✼

✶✷✽

✶✷✾

✶✸✵

✶✸✶

◆▲P ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥s

❚❤❡ ♣♦t❡♥t✐❛❧s ♦❢ ◆▲P t♦ ❛ ✈❛r✐❡t② ♦❢ ❜✉s✐♥❡ss❡s ❛❝r♦ss ♠❛♥② ❞✐s❝✐♣❧✐♥❡s ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ✇❡❧❧ r❡♣♦rt❡❞✳ ◆▲P t❡❝❤♥✐q✉❡s ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ✇✐❞❡❧② ❛❝❝❡♣t❡❞ ❛♥❞ ❛♣♣❧✐❡❞✳ ❇✐♦♠❡❞✐❝❛❧ ✐s t❤❡ ♣✐♦♥❡❡r s❡❝t♦r ✇❤✐❝❤ ❤❛✈❡ ❛♥ ❡①tr❛♦r❞✐♥❛r② ♥✉♠❜❡r ♦❢ ♣r❛❝t✐❝❛❧ ❛♥❞ ❛❝❛❞❡♠✐❝ r❡s❡❛r❝❤ ✉s✐♥❣ ◆▲P✱

❢♦r ✐♥st❛♥❝❡ ✭s♦♠❡ ❝✐t❛t✐♦♥s✮✳

▼❡❛♥✇❤✐❧❡✱ t❤❡ ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥ ♦❢ ◆▲P ✐♥ t❤❡ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥ ✐♥❞✉str② ✐s st✐❧❧ ✐♥ t❤❡ ❡❛r❧② st❛❣❡✳

❙❡✈❡r❛❧ r❡s❡❛r❝❤ ❤❛✈❡ ❜❡❡♥ ❝♦♥❞✉❝t❡❞ ✉s✐♥❣ ◆▲P ❢♦r ❛✉t♦♠❛t❡❞ ❝♦♠♣❧✐❛♥❝❡ ❝❤❡❝❦✐♥❣ ✭❩❤❛♥❣

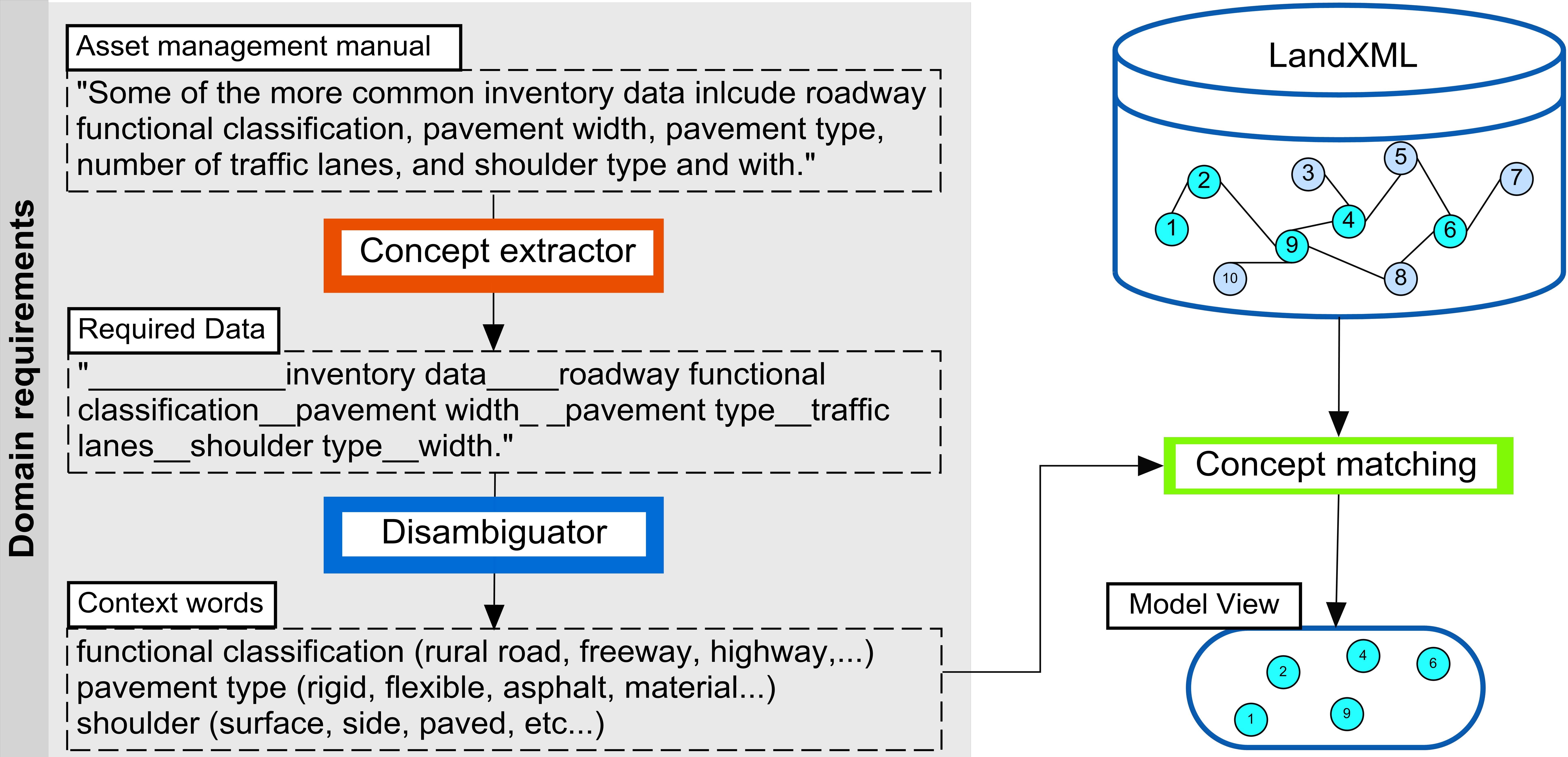
❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r② ❀ ❩❤❛♥❣ ❡t ❛❧✳ ✷✵✶✺❀ ❩❤❛♥❣ ❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r② ✷✵✶✺❜✮✱ ■❋❈ ❡①t❡♥s✐♦♥ ❞❡✈❡❧♦♣✲

♠❡♥t ✭❩❤❛♥❣ ❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r② ✷✵✶✺❛✮✳ ✭❩❤❛♥❣ ❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r② ✷✵✶✺❛✮ ♣r♦♣♦s❡❞ ❛ ❛❧❣♦r✐t❤♠

❝❛❧❧ ❩❊❙❡▼ ❢♦r ❞❡t❡r♠✐♥✐♥❣ t❤❡ s❡♠❛♥t✐❝ s✐♠✐❧❛r✐t② ❜❡t✇❡❡♥ t✇♦ ❝♦♥❝❡♣ts✳ ❚❤❡ ❛❧❣♦r✐t❤♠

✐♥❝❧✉❞❡s t✇♦ s❡q✉❡♥t✐❛❧ st❡♣s t❤❛t ❛r❡ ❛ t❡r♠✲❜❛s❡❞ ♠❛t❝❤✐♥❣ ❛♥❞ ❛ s❡♠❛♥t✐❝ r❡❧❛t✐♦♥ ❜❛s❡❞

♠❛t❝❤✐♥❣✳ ❖♥❡ ♣r♦❜❧❡♠ ✇✐t❤ t❤✐s ❛❧❣♦r✐t❤♠ ✐s t❤❡ ❧❛❝❦ ♦❢ t❤❡ ✐♥t❡❣r❛t✐♦♥ ♦❢ s②♥t❛① ❛♥❞



❋■●✳ ✶✿ ▼❉❱ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥ ♠❡t❤♦❞♦❧♦❣②

✶✸✷

✶✸✸

✶✸✹

✶✸✺

❝♦♥t❡①t ❢❡❛t✉r❡s✱ ❤❡♥❝❡ ❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥ st✐❧❧ r❡♠❛✐♥s ✐♥ t❤❡ ❝❛s❡ ✐♥ ✇❤✐❝❤ t❤❡ s❛♠❡ ✇♦r❞❢♦r♠

✐s ✉s❡❞ ❢♦r ❞✐✛❡r❡♥t s❡♥s❡s✳ ❚❤❡ ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥ ♦❢ ◆▲P ❢♦r t❤❡ ❞❡✈❡❧♦♣♠❡♥t ♦❢ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ✐s

♥♦t ②❡t ❡①♣❧♦✐t❡❞✳ ❆s t❤❡ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ❞❡✈❡❧♦♣♠❡♥t ✐s ❝r✐t✐❝❛❧ t♦ ❛❧❧♦✇ ❢♦r ❛ s❡❛♠❧❡ss ❞❛t❛

❡①❝❤❛♥❣❡✱ ❛ r❡s❡❛r❝❤ ✐s ♥❡❡❞❡❞ t♦ ❡♠♣❧♦② ◆▲P ❢♦r ❛✉t♦♠❛t❡❞ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥ ♦❢ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇s✳

✶✸✻

✶✸✼

✶✸✽

✶✸✾

✶✹✵

✶✹✶

✶✹✷

✶✹✸

P❘❖P❖❙❊❉ ▼❊❚❍❖❉❖▲❖●❨

❋✐❣✉r❡ ✶ ♣r❡s❡♥ts t❤❡ ♣r♦♣♦s❡❞ ♠❡t❤♦❞♦❧♦❣② ❢♦r ❛✉t♦♠❛t❡❞ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥ ♦❢ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇

❜❛s❡❞ ✉♣♦♥ t❡①t ❞♦❝✉♠❡♥ts ✐♥ ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t✳ ❚❤❡ ❝♦r♣✉s ♦❢ t❡①t ✐♥ t❤❡ ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡✲

♠❡♥t ❣✉✐❞❡❜♦♦❦s ✐s ❛♥❛❧②③❡❞ ❛♥❞ tr❛♥s❢♦r♠❡❞ ✐♥t♦ ❛ ❢♦r♠❛❧ ♦♥t♦❧♦❣② ♦❢ ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t

❞♦♠❛✐♥ t❤r♦✉❣❤ t❤❡ ♦♥t♦❧♦❣② ❣❡♥❡r❛t♦r✳ ❚❤❡ t❛r❣❡t ♦♥t♦❧♦❣② ❛r❡ t❤❡♥ ♠❛t❝❤❡❞ ✇✐t❤ t❤❡ s♦✉r❝❡ ♦♥t♦❧♦❣② ♦❢ t❤❡ ❆❊❈ ♠❡r❣❡❞ ♦♥t♦❧♦❣② t♦ ❞❡t❡r♠✐♥❡ ✇❤❛t ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ t❤❛t ❛r❡ ❣❡♥❡r✲

❛t❡❞ ✐♥ t❤❡ ✉♣ str❡❛♠ ♣❤❛s❡s ❛r❡ ♥❡❡❞❡❞ ❢♦r ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t✳ ❙♣❡❝✐✜❝❛❧❧②✱ t❤❡ t❤❡ ♣r♦♣♦s❡❞

♠❡t❤♦❞♦❧♦❣② ❝♦♥s✐sts ♦❢ t❤❡ ❢♦❧❧♦✇✐♥❣ ♠♦❞✉❧❡s✳

✶✹✹

✶✹✺

✶✹✻

❍✐❣❤✇❛② ❝♦r♣✉s

❍✐❣❤✇❛② ❝♦r♣✉s ✇❛s ❝♦❧❧❡❝t❡❞ ❢r♦♠ ❛ ♥✉♠❜❡r ♦❢ ❞♦❝✉♠❡♥ts ❢r♦♠ ♠✉❧t✐♣❧❡ s♦✉r❝❡s s✉❝❤

❛s ❲✐❦✐♣❡❞✐❛✱ t❡①t❜♦♦❦s✱ ❢❡❞❡r❛❧ ❛♥❞ st❛t❡ ❤✐❣❤✇❛② ❡♥❣✐♥❡❡r✐♥❣ ♠❛♥✉❛❧s✱ r❡s❡❛r❝❤ r❡♣♦rt

✶✹✼

s♣❡❝✐❛❧✐③❡❞ ❢♦r ❛❝r♦ss ♣r♦❥❡❝t ♣❤❛s❡s ✐♥❝❧✉❞✐♥❣ ❞❡s✐❣♥✱ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥ ❛♥❞ ❛ss❡t ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t✳

✶✹✽

▼♦❞✉❧❡ ✶ ✲ ❊①tr❛❝t✐♦♥ ♦❢ ❞❛t❛ r❡q✉✐r❡♠❡♥ts

✶✹✾

❲♦r❞ ❚♦❦❡♥✐③❛t✐♦♥

✶✺✵

P❖❙ t❛❣❣✐♥❣

✶✺✶

❈♦♥❝❡♣t ❞❡t❡❝t✐♦♥

✶✺✷

▼♦❞✉❧❡ ✷ ✲ ❚❡r♠ ❞✐s❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥

✶✺✸

❚❡r♠ ✈❡❝t♦r r❡♣r❡s❡♥t❛t✐♦♥

✶✺✹

❙❡♠❛♥t✐❝ r❡❧❛t❡❞♥❡ss ♠❡❛s✉r❡♠❡♥t

✶✺✺

▼♦❞✉❧❡ ✸ ✲ ❚❡r♠ ♠❛t❝❤✐♥❣ ❛♥❞ ▼❱❉ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥

✶✺✻

✶✺✼

✶✺✽

✶✺✾

✶✻✵

✶✻✶

✶✻✷

✶✻✸

✶✻✹

❱❆▲■❉❆❚■❖◆

❆♥ ❡①♣❡r✐♠❡♥t ✇❛s ❝♦♥❞✉❝t❡❞ t♦ ✈❛❧✐❞❛t❡ t❤❡ ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥ ♠❛❝❤✐♥❡✳ ■♥ t❤✐s

❡①♣❡r✐♠❡♥t✱ ❛ ❣r❛❞✉❛t❡ st✉❞❡♥t ✇❡r❡ ❛s❦❡❞ t♦ r❡❛❞ ❛ r❛♥❞♦♠❧② s❡❧❡❝t❡❞ ❞♦❝✉♠❡♥t ✇❤✐❝❤

❝♦♥t❛✐♥s ❞❛t❛ r❡q✉✐r❡♠❡♥ts ❢♦r ❛ s♣❡❝✐✜❝ ❞❛t❛ tr❛♥s❛❝t✐♦♥✳ ❚❤❡ ❞✉t② ♦❢ t❤❡ st✉❞❡♥t ✐s t♦

♠❛♥✉❛❧❧② ✐❞❡♥t✐❢② t❤❡ s✉❜s❡t ♦❢ ❞❛t❛ ✐♥ t❤❡ ❆❊❈ ♠❡r❣❡❞ ♦♥t♦❧♦❣② t❤❛t ✇♦✉❧❞ ❢✉❧✜❧❧ t❤❡ ❞❛t❛ r❡q✉✐r❡♠❡♥ts✳ ▼❡❛♥✇❤✐❧❡✱ t❤❡ ♠❛❝❤✐♥❡ ✇❛s ❛♣♣❧✐❡❞ t♦ ❛✉t♦♠❛t✐❝❛❧❧② ❣❡♥❡r❛t❡ t❤❡ s✉❜s❡t ♦❢

❞❛t❛ ❢r♦♠ t❤❡ s❛♠❡ ❞♦❝✉♠❡♥t ❛s t❤❡ st✉❞❡♥t ✉s❡❞✳ ❚❤❡ r❡s✉❧t ❢r♦♠ t❤❡ t✇♦ ♠❡t❤♦❞s ✇❡r❡

✉s❡❞ t♦ ❝❛❧❝✉❧❛t❡ t❤❡ ♣r❡❝✐s✐♦♥✱ r❡❝❛❧❧✱ ❛♥❞ ❋ r❛t✐♦ t♦ ❡✈❛❧✉❛t❡ t❤❡ ❛❝❝✉r❛❝② ♦❢ t❤❡ ❣❡♥❡r❛t✐♦♥

♠❛❝❤✐♥❡✳

✶✻✺

❘❊❋❊❘❊◆❈❊❙

✶✻✻

✶✻✼

✶✻✽

✶✻✾

✶✼✵

✶✼✶

✶✼✷

❜✉✐❧❞✐♥❣❙▼❆❘❚ ✭✷✵✶✺✮✳ ✏■❢❝ ♦✈❡r✈✐❡✇ s✉♠♠❛r②✱ *<*❤tt♣✿✴✴✇✇✇✳❜✉✐❧❞✐♥❣s♠❛rt✲t❡❝❤✳♦r❣✴*>*✳

❆❝❝❡ss❡❞✿ ✷✵✶✺✲✶✵✲✶✶✳

❈❛♠❜r✐❛✱ ❊✳ ❛♥❞ ❲❤✐t❡✱ ❇✳ ✭✷✵✶✹✮✳ ✏❏✉♠♣✐♥❣ ♥❧♣ ❝✉r✈❡s✿ ❛ r❡✈✐❡✇ ♦❢ ♥❛t✉r❛❧ ❧❛♥❣✉❛❣❡

♣r♦❝❡ss✐♥❣ r❡s❡❛r❝❤ ❬r❡✈✐❡✇ ❛rt✐❝❧❡❪✳✑ ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ■♥t❡❧❧✐❣❡♥❝❡ ▼❛❣❛③✐♥❡✱ ■❊❊❊✱ ✾✭✷✮✱

✹✽✕✺✼✳

❈✉♥♥✐♥❣❤❛♠✱ ❍✳✱ ▼❛②♥❛r❞✱ ❉✳✱ ❇♦♥t❝❤❡✈❛✱ ❑✳✱ ❛♥❞ ❚❛❜❧❛♥✱ ❱✳ ✭✷✵✵✷✮✳ ✏●❛t❡✿ ❛♥ ❛r❝❤✐t❡❝t✉r❡

❢♦r ❞❡✈❡❧♦♣♠❡♥t ♦❢ r♦❜✉st ❤❧t ❛♣♣❧✐❝❛t✐♦♥s✳✑ Pr♦❝❡❡❞✐♥❣s ♦❢ t❤❡ ✹✵t❤ ❛♥♥✉❛❧ ♠❡❡t✐♥❣ ♦♥

✶✼✸

✶✼✹

✶✼✺

✶✼✻

✶✼✼

✶✼✽

✶✼✾

✶✽✵

✶✽✶

✶✽✷

✶✽✸

✶✽✹

✶✽✺

✶✽✻

✶✽✼

✶✽✽

✶✽✾

✶✾✵

✶✾✶

✶✾✷

✶✾✸

✶✾✹

✶✾✺

✶✾✻

✶✾✼

✶✾✽

✶✾✾

❛ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❝♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ❧✐♥❣✉✐st✐❝s✱ ❆ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ▲✐♥❣✉✐st✐❝s✱ ✶✻✽✕

✶✼✺✳

❊❛st✱ ❊✳ ❲✳ ✭✷✵✵✼✮✳ ✏❈♦♥str✉❝t✐♦♥ ♦♣❡r❛t✐♦♥s ❜✉✐❧❞✐♥❣ ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ❡①❝❤❛♥❣❡ ✭❝♦❜✐❡✮✳✑ ❘❡♣♦rt

♥♦✳✱ ❉❚■❈ ❉♦❝✉♠❡♥t✳

❊❛st✱ ❊✳ ❲✳✱ ◆✐s❜❡t✱ ◆✳✱ ❛♥❞ ▲✐❡❜✐❝❤✱ ❚✳ ✭✷✵✶✷✮✳ ✏❋❛❝✐❧✐t② ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t ❤❛♥❞♦✈❡r ♠♦❞❡❧ ✈✐❡✇✳✑

❏♦✉r♥❛❧ ♦❢ ❝♦♠♣✉t✐♥❣ ✐♥ ❝✐✈✐❧ ❡♥❣✐♥❡❡r✐♥❣✱ ✷✼✭✶✮✱ ✻✶✕✻✼✳

❊❛st♠❛♥✱ ❈✳ ✭✷✵✶✷✮✳ ✏❚❤❡ ❢✉t✉r❡ ♦❢ ✐❢❝✿ ❘❛t✐♦♥❛❧❡ ❛♥❞ ❞❡s✐❣♥ ♦❢ ❛ s❡♠ ✐❢❝ ❧❛②❡r✳ Pr❡s❡♥t❛✐♦♥

❛t t❤❡ ■❉❉❙ ✇♦r❦s❤♦♣✳

❋r♦❡s❡✱ ❚✳ ✭✷✵✵✸✮✳ ✏❋✉t✉r❡ ❞✐r❡❝t✐♦♥s ❢♦r ✐❢❝✲❜❛s❡❞ ✐♥t❡r♦♣❡r❛❜✐❧✐t②✳✑ ■❚❝♦♥✱ ✽✱ ✷✸✶✕✷✹✻✳

✭●❙❆✮✱ ❯✳ ●✳ ❙✳ ❆✳ ✭✷✵✶✶✮✳ ✏●s❛ ❜✉✐❧❞✐♥❣ ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ♠♦❞❡❧✐♥❣ ❣✉✐❞❡ s❡r✐❡s✿ ✵✽ ➊ ❣s❛ ❜✐♠

❣✉✐❞❡ ❢♦r ❢❛❝✐❧✐t② ♠❛♥❛❣❡♠❡♥t✳✑ ❘❡♣♦rt ♥♦✳

❍❛r✐s♣❡✱ ❙✳✱ ❘❛♥✇❡③✱ ❙✳✱ ❏❛♥❛q✐✱ ❙✳✱ ❛♥❞ ▼♦♥t♠❛✐♥✱ ❏✳ ✭✷✵✶✸✮✳ ✏❙❡♠❛♥t✐❝ ♠❡❛s✉r❡s ❢♦r t❤❡

❝♦♠♣❛r✐s♦♥ ♦❢ ✉♥✐ts ♦❢ ❧❛♥❣✉❛❣❡✱ ❝♦♥❝❡♣ts ♦r ✐♥st❛♥❝❡s ❢r♦♠ t❡①t ❛♥❞ ❦♥♦✇❧❡❞❣❡ ❜❛s❡

❛♥❛❧②s✐s✳✑ ❛r❳✐✈ ♣r❡♣r✐♥t ❛r❳✐✈✿✶✸✶✵✳✶✷✽✺✳

❍❛r✐s♣❡✱ ❙✳✱ ❘❛♥✇❡③✱ ❙✳✱ ❏❛♥❛q✐✱ ❙✳✱ ❛♥❞ ▼♦♥t♠❛✐♥✱ ❏✳ ✭✷✵✶✺✮✳ ✏❙❡♠❛♥t✐❝ s✐♠✐❧❛r✐t② ❢r♦♠ ♥❛t✉✲ r❛❧ ❧❛♥❣✉❛❣❡ ❛♥❞ ♦♥t♦❧♦❣② ❛♥❛❧②s✐s✳✑ ❙②♥t❤❡s✐s ▲❡❝t✉r❡s ♦♥ ❍✉♠❛♥ ▲❛♥❣✉❛❣❡ ❚❡❝❤♥♦❧♦❣✐❡s✱

✽✭✶✮✱ ✶✕✷✺✹✳

❍✉✱ ❍✳ ✭✷✵✶✹✮✳ ✏❉❡✈❡❧♦♣♠❡♥t ♦❢ ✐♥t❡r♦♣❡r❛❜❧❡ ❞❛t❛ ♣r♦t♦❝♦❧ ❢♦r ✐♥t❡❣r❛t❡❞ ❜r✐❞❣❡ ♣r♦❥❡❝t

❞❡❧✐✈❡r②✳✑ P❤✳❞✳✱ P❤✳❞✳ ❈♦♣②r✐❣❤t ✲ ❈♦♣②r✐❣❤t Pr♦◗✉❡st✱ ❯▼■ ❉✐ss❡rt❛t✐♦♥s P✉❜❧✐s❤✐♥❣

✷✵✶✹ ▲❛st ✉♣❞❛t❡❞ ✲ ✷✵✶✺✲✵✸✲✶✽ ❋✐rst ♣❛❣❡ ✲ ♥✴❛✳

✐♥❢r❛♠♦❞❡❧✳✜ ✭✷✵✶✹✮✳ ✏■♥❢r❛♠♦❞❡❧✱ *<*❤tt♣✿✴✴✇✇✇✳✐♥❢r❛♠♦❞❡❧✳✜✴❡♥✴*>*✳ ❆❝❝❡ss❡❞✿ ✷✵✶✺✲✶✵✲✶✶✳

❧❛♥❞①♠❧✳♦r❣ ✭✷✵✶✺✮✳ ✏❆❜♦✉t ❧❛♥❞①♠❧✳♦r❣✱ *<*❤tt♣✿✴✴✇✇✇✳❧❛♥❞①♠❧✳♦r❣✴❆❜♦✉t✳❛s♣①*>*✳ ❆❝✲

❝❡ss❡❞✿ ✷✵✶✺✲✶✵✲✶✶✳

▲❡s❦✱ ▼✳ ✭✶✾✽✻✮✳ ✏❆✉t♦♠❛t✐❝ s❡♥s❡ ❞✐s❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥ ✉s✐♥❣ ♠❛❝❤✐♥❡ r❡❛❞❛❜❧❡ ❞✐❝t✐♦♥❛r✐❡s✿ ❤♦✇ t♦ t❡❧❧ ❛ ♣✐♥❡ ❝♦♥❡ ❢r♦♠ ❛♥ ✐❝❡ ❝r❡❛♠ ❝♦♥❡✳✑ Pr♦❝❡❡❞✐♥❣s ♦❢ t❤❡ ✺t❤ ❛♥♥✉❛❧ ✐♥t❡r♥❛t✐♦♥❛❧

❝♦♥❢❡r❡♥❝❡ ♦♥ ❙②st❡♠s ❞♦❝✉♠❡♥t❛t✐♦♥✱ ❆❈▼✱ ✷✹✕✷✻✳

▲✐♠❛✱ ❈✳✱ ❊❧✲❉✐r❛❜②✱ ❚✳✱ ❛♥❞ ❙t❡♣❤❡♥s✱ ❏✳ ✭✷✵✵✺✮✳ ✏❖♥t♦❧♦❣②✲❜❛s❡❞ ♦♣t✐♠✐③❛t✐♦♥ ♦❢ ❦♥♦✇❧❡❞❣❡

✷✵✵

✷✵✶

✷✵✷

✷✵✸

✷✵✹

✷✵✺

✷✵✻

✷✵✼

✷✵✽

✷✵✾

✷✶✵

✷✶✶

✷✶✷

✷✶✸

✷✶✹

✷✶✺

✷✶✻

✷✶✼

✷✶✽

✷✶✾

✷✷✵

✷✷✶

✷✷✷

✷✷✸

✷✷✹

✷✷✺

✷✷✻

♠❛♥❛❣❡♠❡♥t ✐♥ ❡✲❝♦♥str✉❝t✐♦♥✳✑ ❏♦✉r♥❛❧ ♦❢ ■❚ ✐♥ ❈♦♥str✉❝t✐♦♥✱ ✶✵✱ ✸✵✺✕✸✷✼✳

◆❛✈✐❣❧✐✱ ❘✳ ✭✷✵✵✾✮✳ ✏❲♦r❞ s❡♥s❡ ❞✐s❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥✿ ❆ s✉r✈❡②✳✑ ❆❈▼ ❈♦♠♣✉t✐♥❣ ❙✉r✈❡②s

✭❈❙❯❘✮✱ ✹✶✭✷✮✱ ✶✵✳

◆✐s❜❡t✱ ◆✳ ✭✷✵✶✷✮✳ ✏❈♦❜✐❡ ✉❦✿ ❘❡q✉✐r❡❞ ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ❢♦r ❢❛❝✐❧✐t② ♦♣❡r❛t✐♦♥✳✑ ❘❡♣♦rt ♥♦✳✱ ❆❊❈✸

❯❑ ▲t❞✳

♦❢ ❇✉✐❧❞✐♥❣ ❙❝✐❡♥❝❡s ✭◆■❇❙✮✱ ◆✳ ■✳ ✭✷✵✶✺✮✳ ✏◆❛t✐♦♥❛❧ ❜✐♠ st❛♥❞❛r❞ ➊ ✉♥✐t❡❞ st❛t❡s ✈❡rs✐♦♥

✸✳✑ ❘❡♣♦rt ♥♦✳

❚♦✉t❛♥♦✈❛✱ ❑✳✱ ❑❧❡✐♥✱ ❉✳✱ ▼❛♥♥✐♥❣✱ ❈✳ ❉✳✱ ❛♥❞ ❙✐♥❣❡r✱ ❨✳ ✭✷✵✵✸✮✳ ✏❋❡❛t✉r❡✲r✐❝❤ ♣❛rt✲♦❢✲ s♣❡❡❝❤ t❛❣❣✐♥❣ ✇✐t❤ ❛ ❝②❝❧✐❝ ❞❡♣❡♥❞❡♥❝② ♥❡t✇♦r❦✳✑ Pr♦❝❡❡❞✐♥❣s ♦❢ t❤❡ ✷✵✵✸ ❈♦♥❢❡r❡♥❝❡ ♦❢ t❤❡ ◆♦rt❤ ❆♠❡r✐❝❛♥ ❈❤❛♣t❡r ♦❢ t❤❡ ❆ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ▲✐♥❣✉✐st✐❝s ♦♥ ❍✉♠❛♥

▲❛♥❣✉❛❣❡ ❚❡❝❤♥♦❧♦❣②✲❱♦❧✉♠❡ ✶✱ ❆ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ▲✐♥❣✉✐st✐❝s✱ ✶✼✸✕✶✽✵✳

❱❡♥✉❣♦♣❛❧✱ ▼✳✱ ❊❛st♠❛♥✱ ❈✳ ▼✳✱ ❙❛❝❦s✱ ❘✳✱ ❛♥❞ ❚❡✐③❡r✱ ❏✳ ✭✷✵✶✷✮✳ ✏❙❡♠❛♥t✐❝s ♦❢ ♠♦❞❡❧

✈✐❡✇s ❢♦r ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ❡①❝❤❛♥❣❡s ✉s✐♥❣ t❤❡ ✐♥❞✉str② ❢♦✉♥❞❛t✐♦♥ ❝❧❛ss s❝❤❡♠❛✳✑ ❆❞✈❛♥❝❡❞

❊♥❣✐♥❡❡r✐♥❣ ■♥❢♦r♠❛t✐❝s✱ ✷✻✭✷✮✱ ✹✶✶✕✹✷✽✳

❲❡❜st❡r✱ ❏✳ ❏✳ ❛♥❞ ❑✐t✱ ❈✳ ✭✶✾✾✷✮✳ ✏❚♦❦❡♥✐③❛t✐♦♥ ❛s t❤❡ ✐♥✐t✐❛❧ ♣❤❛s❡ ✐♥ ♥❧♣✳✑ Pr♦❝❡❡❞✐♥❣s ♦❢ t❤❡ ✶✹t❤ ❝♦♥❢❡r❡♥❝❡ ♦♥ ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ❧✐♥❣✉✐st✐❝s✲❱♦❧✉♠❡ ✹✱ ❆ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧

▲✐♥❣✉✐st✐❝s✱ ✶✶✵✻✕✶✶✶✵✳

❲♦♥❣✱ ❲✳✱ ▲✐✉✱ ❲✳✱ ❛♥❞ ❇❡♥♥❛♠♦✉♥✱ ▼✳ ✭✷✵✶✷✮✳ ✏❖♥t♦❧♦❣② ❧❡❛r♥✐♥❣ ❢r♦♠ t❡①t✿ ❆ ❧♦♦❦ ❜❛❝❦

❛♥❞ ✐♥t♦ t❤❡ ❢✉t✉r❡✳✑ ❆❈▼ ❈♦♠♣✉t✐♥❣ ❙✉r✈❡②s ✭❈❙❯❘✮✱ ✹✹✭✹✮✱ ✷✵✳

❨❛r♦✇s❦②✱ ❉✳ ✭✶✾✾✺✮✳ ✏❯♥s✉♣❡r✈✐s❡❞ ✇♦r❞ s❡♥s❡ ❞✐s❛♠❜✐❣✉❛t✐♦♥ r✐✈❛❧✐♥❣ s✉♣❡r✈✐s❡❞ ♠❡t❤♦❞s✳✑ Pr♦❝❡❡❞✐♥❣s ♦❢ t❤❡ ✸✸r❞ ❛♥♥✉❛❧ ♠❡❡t✐♥❣ ♦♥ ❆ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ▲✐♥❣✉✐st✐❝s✱

❆ss♦❝✐❛t✐♦♥ ❢♦r ❈♦♠♣✉t❛t✐♦♥❛❧ ▲✐♥❣✉✐st✐❝s✱ ✶✽✾✕✶✾✻✳

❩❤❛♥❣✱ ❏✳ ❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r②✱ ◆✳ ✭✷✵✶✺❛✮✳ ✏❆ s❡♠❛♥t✐❝ s✐♠✐❧❛r✐t②✲❜❛s❡❞ ♠❡t❤♦❞ ❢♦r s❡♠✐✲

❛✉t♦♠❛t❡❞ ✐❢❝ ❡①❡♥s✐♦♥✳

❩❤❛♥❣✱ ❏✳ ❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r②✱ ◆✳ ▼✳ ✏❆✉t♦♠❛t❡❞ r❡❛s♦♥✐♥❣ ❢♦r r❡❣✉❧❛t♦r② ❝♦♠♣❧✐❛♥❝❡ ❝❤❡❝❦✐♥❣

✐♥ t❤❡ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥ ❞♦♠❛✐♥✳✑ ❈♦♥str✉❝t✐♦♥ ❘❡s❡❛r❝❤ ❈♦♥❣r❡ss ✷✵✶✹❅ s❈♦♥str✉❝t✐♦♥ ✐♥ ❛

●❧♦❜❛❧ ◆❡t✇♦r❦✱ ❆❙❈❊✱ ✾✵✼✕✾✶✻✳

✷✷✼

✷✷✽

✷✷✾

✷✸✵

✷✸✶

✷✸✷

✷✸✸

✷✸✹

❩❤❛♥❣✱ ❏✳ ❛♥❞ ❊❧✲●♦❤❛r②✱ ◆✳ ▼✳ ✭✷✵✶✺❜✮✳ ✏❆✉t♦♠❛t❡❞ ✐♥❢♦r♠❛t✐♦♥ tr❛♥s❢♦r♠❛t✐♦♥ ❢♦r ❛✉✲ t♦♠❛t❡❞ r❡❣✉❧❛t♦r② ❝♦♠♣❧✐❛♥❝❡ ❝❤❡❝❦✐♥❣ ✐♥ ❝♦♥str✉❝t✐♦♥✳✑ ❏♦✉r♥❛❧ ♦❢ ❈♦♠♣✉t✐♥❣ ✐♥ ❈✐✈✐❧

❊♥❣✐♥❡❡r✐♥❣✱ ❇✹✵✶✺✵✵✶✳

❩❤❛♥❣✱ ❙✳✱ ❇♦✉❦❛♠♣✱ ❋✳✱ ❛♥❞ ❚❡✐③❡r✱ ❏✳ ✭✷✵✶✺✮✳ ✏❖♥t♦❧♦❣②✲❜❛s❡❞ s❡♠❛♥t✐❝ ♠♦❞❡❧✐♥❣ ♦❢ ❝♦♥✲ str✉❝t✐♦♥ s❛❢❡t② ❦♥♦✇❧❡❞❣❡✿ ❚♦✇❛r❞s ❛✉t♦♠❛t❡❞ s❛❢❡t② ♣❧❛♥♥✐♥❣ ❢♦r ❥♦❜ ❤❛③❛r❞ ❛♥❛❧②s✐s

✭❥❤❛✮✳✑ ❆✉t♦♠❛t✐♦♥ ✐♥ ❈♦♥str✉❝t✐♦♥✱ ✺✷✭✵✮✱ ✷✾✕✹✶✳

❩❤❛♦✱ ❍✳ ❛♥❞ ❑✐t✱ ❈✳ ✭✷✵✶✶✮✳ ✏■♥t❡❣r❛t✐♥❣ ✉♥s✉♣❡r✈✐s❡❞ ❛♥❞ s✉♣❡r✈✐s❡❞ ✇♦r❞ s❡❣♠❡♥t❛t✐♦♥✿

❚❤❡ r♦❧❡ ♦❢ ❣♦♦❞♥❡ss ♠❡❛s✉r❡s✳✑ ■♥❢♦r♠❛t✐♦♥ ❙❝✐❡♥❝❡s✱ ✶✽✶✭✶✮✱ ✶✻✸✕✶✽✸✳