4.1 مقدمة :

مع التطور الحضاري للمسيرة الإنسانية، والنمو الإنساني المتزايد وزيادة الحاجة المستمرة للبنية التحتية الأساسية لإشباع الأهداف الاقتصادية المتعددة للمجتمعات المتطورة ومع الطرق السريعة والسكك الحديدية العابرة يتشكل لدينا صورة واضحة عما أصبحت عليه الحياة مع ازدحام متزايد بشكل كبير فوق سطح الأرض.

لذا تم اللجوء الى صنع الانفاق التي تشكل احد الفضاءات والمساحات المتاحة لحركة المركبات والقطارات، وتمديدات المجاري المائية والصحية وخطوط الاتصالات وخطوط الطاقة لتقليص المسافات واجتياز السلاسل الجبلية والانهار وغيرها .

ولكي يتم تنفيذ نفق كان لا بد من التعرف على هذا النوع من المنشآت وطرق تشييدها وذلك لمعرفة الاحمال الواقعة عليها لتعطي النتائج الواقعية من اجل التصميم الأمثل.

4.2 لمحة تاريخية

تم انشاء الانفاق قديما من قبل المهندسين الرومان بغرض نقل المياه فقط ، حيث اقام الرومان ببناء اعقد شبكة انفاق في العالم القديم ، والتي تميزت بالإنشاءات المنحدرة (المائلة) التي تدعى القنوات ، وذلك بهدف نقل المياه من الينابيع الجبلية الى المدن والقرى القريبة.

قام المهندسون الرومان بنحت وحفر غرف تحت الأرض وانشاء المنحنيات القوسية الفنية الرائعة ليس فقط لاستحضار المياه العذبة من الجبال الى المدن وانما للتخلص من مياه التصريف الصحي أيضا، ومع ظهور السيارات والقطارات اخذت انشاءات الانفاق بالتوسع والتطور بشكل ملحوظ ، فخلال القرن التاسع عشر ، حدثت تطورات كبيرة في هندسة الانفاق وشق الطرق الاسفلتية للسيارات والسكك الحديدية للقطارات ، حيث أصبحت الانفاق اكثر ضخامة وافضل تصميما وتمتد لمسافات اكبر تحت الأرض.

في عصرنا الحالي لم يقف المهندسون عند مسألة حفر الانفاق داخل الجبال وفي المحيطات فمع اخر الإبداعات الانشائية العصرية اصبح المهندسون قادرون على حفر وانشاء أعقد الانفاق الجبلية ، وتحت مجاري الأنهار ، وحتى تحت المدن النشيطة بالأعمال ، حيث يقوم المهندسون قبل البدء باي عملية حفر بإجراء الدراسات الضرورية والتحريات عن أوضاع الأرض والتربة من خلال عمليات تحليل التربة وعينات من الصخور الموجودة

4.3 تعريف الانفاق

تعريف انفاق الطريق الذي حددته اللجنة الفنية للأنفاق : هو انها الطرق المغلقة مع طريق لعبور السيارة عبر البوابات في بداية ونهاية النفق ، وتحدد اللجنة كذلك ان انفاق الطريق لا تشمل الطرق المغلقة التي انشأتها جسور الطرق السريعة او الجسور السكك الحديدية او الجسور الأخرى.

الانفاق هي هياكل تتطلب اعتبارات خاصة في التصميم قد تشمل الإضاءة والتهوية وأنظمة الحماية من الحرائق ، ومخارج الطوارئ وينطبق هذا التعريف على جميع أنواع الهياكل النفق وطرق الانفاق.

اهداف النفق 4.4

هدف النفق هو الربط بين منطقتين .

ويمكن ان نقول ان وظيفة النفق لا تنحصر فقط على النقل بل تتعداها الى :

-انفاق التعدين التي تستخدم في استخراج المعادن الخام.

-انفاق الاعمال العامة وهي انفاق تنقل المياه او خطوط الغاز او البترول او مياه المجاري.

وعلى المهندس المدني ان يراعي امرين هامين هما :

1_ امان النفق وديمومته.

2_ تكلفة المشروع.

4.4 فوائد الانفاق

لا يمكن المبالغة في تقدير ضرورة الانفاق والفوائد التي تجلبها بالرغم من ان بناء الانفاق محفوف بالمخاطر ومكلف وتتطلب مستوى عال من المهارة الفنية الا انها :

1_ تسهل الاتصال بين المناطق المختلفة وحركة المرور تحت الأرض.

2_ تحسن نوعية الحياة فوق سطح الأرض ويمكن ان يكون لها تأثير اقتصادي هائل.

3_ انفاق الطريق تعد البديل الممكن لعبور الاجسام المائية او اجتياز الحواجز الطبيعية مثل الجبال والغير طبيعية مثل الطرق والسكك الحديدية والمرافق.

4_ انفاق الطريق هي وسائل للحد من الاثار البيئية المحتملة من ازدحام حركة المرور وحركة المشاة وجودة الهواء وتلوث الضوضاء أي انها تعد حماية للبيئة وتوفير الطاقة.

4.5 شروط انشاء نفق:

1_ اختيار المسار

معظم الانفاق خاصة طويلة المسار تكون منحنية او متعرجة أي غير مستقيمة وذلك لتفادي المناطق التي تحتوي على صخور صلبة فنختار المناطق التي بها صخور لينة لسهولة الحفر فيها ولاختصار الوقت والتكلفة ، كما تجنب الاحواض المائية لانها معرضة لانهيارات أثناء التنفيذ ، ولا بد للإشارة انه في حال تعذر ابعاد هذه المشاكل عن مسار النفق نلجأ الى بنائه تحت أعماق كبيرة وبصفة عامة يشترط على المهندس المدني تامين الشروط التالية:

- لا يتعدى ارتفاع النفق طوله .
- نراعي المنشآت الموجودة فوق النفق وخاصة شبكات نقل المياه.
- ان يكون في تربة طينية.
- ان لا يمر على مناطق زلزالية .
- إضافة 2% من ميل النفق باتجاه النهايتين وذلك لسماح للمياه بالخروج

2_ المقطع العرضي للنفق :

يتم تحديده تبعا ل

1_ تأثير الصخور وطبيعة الأرض فكلما كان الصخر لينا وغير ثابت ازدادت مخاوف تهدم الأرض لذا يكون مقطع النفق اهليجي اما في الأرض الغضارية فيأخذ المقطع شكل دائري .

2_ طريقة الحفر لها اثر في اختيار الشكل العرضي لنفق فمثلا الطرق الكلاسيكية اليدوية تحقق مقاطع شكل حذوة حصان ، اما طريقة الحفر بواسطة الستارة تناسب المقاطع الدائرية فقط .

ومن الأمثلة على بعض المقاطع:

- يكون المقطع بمثابة حذوة حصان في انفاق السكة الحديدية.
- يكون المقطع بمثابة سلة في انفاق المترو.
- يكون المقطع بمثابة مستطيل او نصف دائري في انفاق المشاه.
- يكون المقطع باشكال متنوعة مستطيل او حذوة حصان في انفاق الطرق.

4.6 أساسيات النفق

تتم هندسة النفق مثل هندسة الجسر أي يجب ان تتعلق بمنطقة الفيزياء المعروفة بعلم توازن القرى اذ يقوم علم توازن القوى بوصف كيفية قيام القوى التالية بالتفاعل لاحداث الموازنة في الأبنية مثل الانفاق والجسور:

1_ الشد الذ يقوم بتوسيع او سحب المواد

2_ الضغط الذي يقوم بتقصير او ضغط المواد

3_ القص الذي يتسبب بانزلاق أجزاء المواد وبمرورها باتجاهات معاكسة لبعضها البعض

4_الالتواء الذي يتسبب بانحناء المواد

ان على النفق ان يقاوم هذه القوى بمواد قوية مثل الفولاذ والحديد والاسمنت ، ولكن تبقى الانفاق ساكنة يجب ان تكون قادرة على مقاومة الاحمال التي وضعت عليها ويشير الحمل الميت الى وزن التركيب نفسه بينما الحمل الحي يشير الى وزن العربات والناس اللذين يتحركون خلال النفق.

4.7 أنواع الانفاق

تصنيف الانفاق بشكل رئيسي:

بشكل عام تصنف الانفاق الى:

1_ انفاق التعدين

تستخدم انفاق التعدين اثناء استخراج معادن الخام وتمكن العمال او الأجهزة من الدخول الى عمق حيث أماكن تواجد المعادن داخل الأرض ، كلفتها بالبناء قليلة ، وعلى أي حال انفاق التعدين ليست امنة كالانفاق المصممة من اجل الاستخدام الدائم.

الشكل (11) يوضح انفاق التعدين

2_ انفاق الاعمال العامة

تنقل المياه او خطوط الغاز او مياه المجاري عبر مسافات طويلة وكانت الانفاق السابقة تستخدم لنقل المياه الى المناطق المأهولة بالسكان بشدة ومياه المجاري بعيدا عنها

3_ أنفاق النقل

وكانت تستخدم للسفر او الري او الشحن قبل تواجد القطارات والسيارات ، وتمتد هذه القنوات كسكك الحديد والطرق لمسافات طويلة عادة . فوق سطح الأرض

لشكل (12) يوضح انفاق النقل

4.8 تصنيف الانفاق حسب الاستخدام

بشكل مفصل تقسم الى :

1 - انفاق القطارات :

تعد انفاق القطارات من اهم انفاق النقل ، وتكثر عادة في الانفاق الجبلية وتنفذ أحيانا للعبور تحت الأنهار او لتجاوز المناطق السكنية المكتظة.

يوضح الشكل (13) انفاق القطارات .

2 – انفاق الطرق :

مع زيادة حركة السير على الطرق الرئيسية ومع تطور صناعة السيارات اصبح تنفيذ هذا النوع من الانفاق لاختراق المناطق الجبلية او تحت المجاري المائية (الأنهار) او تحت الساحات والمناطق المكتظة ضرورة ملحة لتشكل استمرار مباشر للطرق

يوضح الشكل(14) انفاق الطرق

3 – انفاق المشاة

ينتمي هذا النوع من الانفاق الى انفاق الطرق لكن مقطعها العرضي اصغر لانها غير مخصصة لمرور السيارات بل يستخدمها المارة وبالتالي ليس من الضروري ان تكون مقاطعها العرضية كبيرة او ميولها الطولية صغيرة ، ويمكن ان تنتهي بأنفاق شاقولية تحتوي على مصاعد لنقل المارة من خلالها الى سطح الأرض .

الشكل (15) يوضح أنفاق المشاة

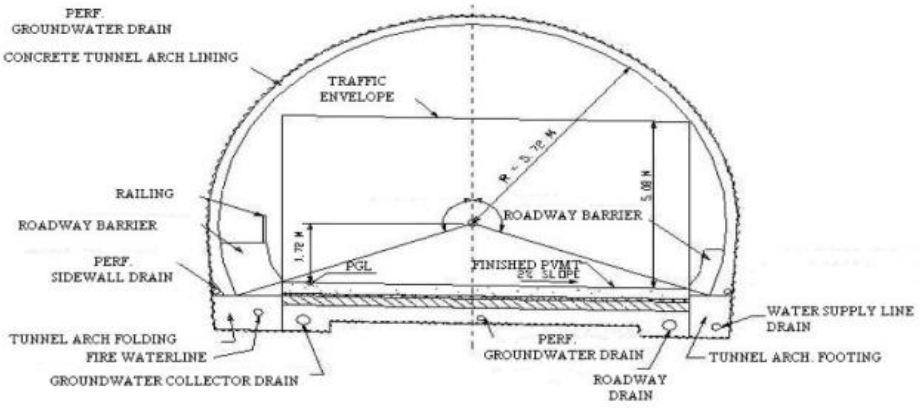
4 – انفاق المحطات الكهرومائية :

يتم تحويل مياه الأنهار وتمريرها عبر انفاق تصل عادة بين خزان مياه عالي المستوى الى محطة لتوليد الطاقة الكهربائية تقع في مستوى منخفض ، وتصمم على شكل حذوة حصان او دائري ليتحمل ضغط المياه العالي الناتج من الفرق الكبير بين مستوى المياه في الخزان ومستوى محطة توليد الطاقة .

الشكل (16) يوضح انفاق المحطات الكهرومائية

4.9 عناصر مقطع النفق الرئيسية

على الرغم من ان العديد من انفاق الطريق تظهر مستطيلة من الداخل تحدها الجدران والسقف والرصيف ، لكن قد لا تكون مستطيلة بالشكل الفعلي ، وهناك عادة ثلاثة اشكال عامة للأنفاق وهي اما دائرية ، او مستطيلة ، او حذوة حصان ، ويعتمد شكل النفق بشكل أساسي على حالة الأرض وأساليب التشييد المتبعة .



يوضح الشكل (17) العناصر المكونة لمقطع النفق

وتشمل عناصر المقطع العرضي النموذجية :

_ ممرات التنقل .

_ اكتاف .

_ الأرصفة وحواف الطريق .

_ تصريف النفق .

_ تهوية النفق .

_ اضاءة النفق .

_ مرافق النفق والطاقة .

_ انابيب امدادات المياه لاطفاء الحريق .

_ خزائن بكرات خراطيم وطفايات حريق .

_ إشارات وعلامات فوق ممرات الطريق .

_ كاميرات مراقبة .

_ هواتف طواريء .

_ معدات مراقبة الانبعاثات الضارة والرؤية .

4.10 خطوات انشاء النفق

هناك ثلاث خطوات أساسية يجب اتباعها بجدية خلال عمليات انشاء وبناء الانفاق النظامية عموما :

1_ الخطوة الأولى : وهي عملية التنقيب حيث يقوم المهندسون بعملية تثقيب في الأرض باستخدام التقنيات المناسبة حسب نوع التربة والصخور .

2_ الخطوة الثانية : وهي عملية التدعيم حيث يجب على المهندسين خلال عملية الحفر البدء باجراءات التدعيم للاسقف والجدران الغير مستقرة والقابلة للانهيار .

3_ الخطوة النهائية : وهي عملية التبطين حيث يقوم المهندسون بإضافة اللمسات الأخيرة ، كرصف الطرقات والانارة والعمليات التكميلية .

4.11 بطانة الانفاق

تعريف البطانة :

بما ان الانفاق تحفر تحت الارض وخوفا من سقوط السقف الذي هو مجموعة من الاتربة يتم تدعميها بالبطانة التي تصنع من مواد مختلفة منها :الخشب ، البلاستيك ،المعادن ، الخرسانة المسلحة ،/والتي يتم تحديد البطانة فيها باعتبار المقطع العرضي للنفق ،فاذا كان :

1_ المقطع منتظم وسهل مثل المستطيل نستعمل بطانة جاهزة مسبقة الصنع

2_ المقطع غيلا متجانس نستعمل بطانة مباشرة يتم صنعها في الموقع

الشروط التي يجب توافرها في البطانة :

- سهولة التنفيذ
- لتماسك مع التربة
- لا تتفاعل مع الوسط الخارجي .

4.12 انواع مواد التبطين

1 . التبطين بالخشب :

هي مادة رخيصة نظرا لوجودها في طبيعة مثل الاشجار الصنوبر توضع على شكل الواح .

من مميزاتها :قلة وزنها ،سهولة استعمالها .

من عيوبها :قصر عمرها بسبب تعفنها ، ضعف تحملها ، سهولة تخريبها .

2 . التبطين بالمعادن :

هي افضل من سابقتها مثال لها الزهر والفولاذ

من مميزاتها :انها ذات مقاومة عالية .

من عيوبها :تكلفة الباهضة ،وتعرضها الى الصدأ بسبب سهولة تفاعلها مع المياة والغازات الموجودة في باطن الارض .

3. لتبطين بالخرسانة والخرسانة المسلحة

تعتبر الخرسانة احسن انواع التبطين وهي شائعة الاستعمال في الوقت الحالي ولتدعيمها نضيف للخرسانة الفولاذ وتسمى بخرسانة مسلحة ،نستعمل هذا النوع في الانفاق التي تبنى في الارض الجافة ، ولا يناسب الاراضي التي تحتوي على كمية كبيرة من الماء وذلك بسبب صدأ الفولاذ بالتالي نقص في مقاومة الضغط ، وكذلك تسرب المياه من البطانة الى النفق فتكثر الرطوبة داخل النفق .

من مميزاتها : تتحمل الضغط الكبير الذي تولده الارض على النفق ، كما ان تفاعلها مع الوسط المحيط به وما يحتويه من ماء وغازات قليل ، تكلفتها الرخيصة .

ندعم البطانة بملء الشقوق بين المقاطع بالرصاص ،أما الفراغ الموجود بين البطانة والتربة يملأ بالكلس .

4.13 تشييد النفق

إن كل نفق تقريبا هو حل لتحدي أو لمشكلة معينة في العديد من الحالات ، وهذا التحدي هو عقبة على طريق أو على سكة حديد ويقوم النفق بتجاوزها فربما تكون هذه العقبة اجسام مائية أو جبال أو طرق نقل أخرى أحيانا تكون حلا أكثر امانا .

تهتمد كيفية بناء النفق بشدة على المواد التي تساهم في بنائه كما أن حفر النفق خلال ارض ناعمة على سبيل المثال تتطلب تقنيات مختلفة جدا عن حفر نفق خلال الصخر الصلب أو الصخرة الناعمة مثل الطين الصفحي او الطباشير او الحجر الرملي وبنفس المنوال فان حفر نفق تحت الماء يشكل تحديا اكبر في كل البيئات ولهذا السبب ان التخطيط مهم جدا من اجل مشروع نفق ناجح اذ يقوم المهندسون باجراء تحليل جيولوجي شامل لدارسة نوع المادة التي سيحفرون النفق خلالها ويقيمون الاخطار النسبية للمواقع المختلفة وياخذون بعين الاعتبار العديد من العوامل مثل

1. انواع الصخور والتربة .
2. الطبقات والمناطق الضعيفة ويتضمن ذلك مناطق القص والشقوق .
3. المياة الجوفية ويتضمن ذلك نمط التدفق والضغط .
4. اخطار خاصة كالحرارة والغاز وخطوط الشق .

في اغلب الاحيان يشيد النفق الواحد بأكثر من نوع واحد من المواد او سيواجه اخطار متعددة ولهذا يسمح التخطيط الجيد للمهندسين بالتصميم من اجل هذه الاختلافات منذ البداية وهذا يقلل التاخيرات الغير متوقعة التي تحدث في منتصف المشروع وعندما يقوم المهندسون بتحليل المواد التي سيشد بها النفق ويقومون بخطة تنقيب عامة يمكن وقتها بدء البناء ولذلك كان لابد من عمل تحريات جيولوجية .

4.14 التحريات الجيولوجية

قبل تنفيذ اي نفق لا بد من اجراء تحريات جيولوجية مستفيضة للموقع المختار لتقدير المخاطر التي يمكن مواجهتها وللتاكد من شروط التربة والمياة الجوفية .

ومن اهم العوامل بالاضافة الى انواع التربة والصخور التي تحدد سلوك كل الصخور ما ياتي :

1- حجم كل الصخور بين نقاط اتصالها .

2- تحديد الطبقات واتلمناطق الضعيفة مثل الصدوع والمناطق المتاثرة بالعوامل الجوية .

3- طبقات المياه الجوفية وكميتها ونوعها ونمط جريانها وضعفها .

4- دراسة بعض المخاطر الخاصة كالحرارة والغازات والهزات الارضية .

تقسم التحريات الى تحريات جوية وسطحية وعميقة حيث تحفر ابار عميقة يتم من خلالها تعرف طبقات الارض وخصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية .

عندما تكون الشروط الجيولوجية معقدة ومقطع النفق العرضي كبيرا يصبح تنفيذه مكلفا جدا واحيانا غير عملي ، ولهذا يجب تنفيذ برنامج تحريات جيولوجية مكثفة في مر حلة التصميم للتاكد من الشروط الجيولوجية على طول مسار النفق ، وتستمر التحريات الجيولوجية في اثناء التنفيذ بحفر نفق استكشافي في مقدمة النفق المراد حفره ، وقد يؤدي ذلك في كثير من الاحيان الى معلومات جيولوجية جديدة تحتم تغيير التصميم الاصلي للنفق .

عندما يكون النفق غير عميق من سطح الارض يصبح تنفيذ ابار شاقولية لتحري الطبقات من سطح الارض حتى تلك التي سيحفر فيها النفق امرا ضروريا وعمليا . ولهذا في اغلب الانفاق غير العميقة تنفيذ ابار على طول محور النفق عند المسافات بين

(30–150م) لاخذ عينات غير مضطربة من التربة والصخور لتحيد خصائصها الهندسية المختلفة كمقاومتها ومساميتها ، لتحيد مستوى المياة الجوفية وكميتها ونوعيتها .

4.15 تهوية الانفاق

- تقسم الى قسمين :

1- اثناء التشييد

تحتاج الانفاق الى التهوية للمحافظة على العاملين وذلك بتزويدهم بكميات كافية من الاكسجين كذلك لتخفيف درجة تركيز الغازات (خاصة بعد اعمال التفجير)ى والاتربة والظروف الجوية العادية ويمكن تحقيق ذلك عن طريق فتحات رئيسية مؤقتة تمتد من السطح الى السقف او عن طريق مداخل النفق وذلك بتركيب مراوح سحب لتزويد الانفاق وباستمرار بكمية كافية من الهواء وطرد الملوث منها .

2- بعد التشييد :

قد تتطلب الانفاق التهوية لمجموعة متنوعة من الاسباب ، على سبيل المثال لضمان كمية الهواء الكافية ، االسيطرة على انتشار الدخان في حالة نشوب حريق ، او لتقليل درجات الحرارة الى حدود مقبولة وتختلف نظم التهوية باختلاف نوع النفق (انفاق المركبات : الطرق والسكك الحديدية والمترو) عموما تتطلب الانفا ق نوعية وجودة هواء عالية في حالة الدخان العادي بالاضافة للتحكم في كمية الهواء في حالة نشوب حريق ، وتتطلب أنفاق المناجم والانفاق عموما محطة تهوية كافية لتلبية الاحتياجات الفسيولوجية والتبريد والسيطرة على الدخان

المبدأ الاساسي لتهوية للنفق :

المبدأ هو التخفيف من الانبعاثات الصادرة من المركبات عن طريق توفير الهواء النقي ومن ثم ازالة الهواء العادم من النفق . ويمكن ازالة الهواء العادم عبر بوابة الموقع حيث يفتح النفق مسار يصل الى البيئة المحيطة او التهوية عن طريق منفذ

(مثل كومة) ، او عن طريق مزيج من الاثنين معا ، نجد ان كمية الملوثات التي يتم انتاجها في نفق في وحدة الزمن يتم تحديدها من قبل حساب العدد الاجمالي للسيارات في النفق مضروبا في نسبة الانبعاثات من كل السيارة .

- نظم التهوية :

هناك عدد من الخيارات المتاحة لانظمة التهوية الانفاق ، بما في ذلك : عرضية وشبه عرضية وطولية .

1- التهوية العرضية :

التهوية العرضية تعمل على نفس مبدأ تخفيف وازالة الهواء كما في التهوية الطولية ولكن ادخال الهواء النقي وازالة الهواء العادم يحدث عبر النفق (اي بالعرض) . يتطلب هذا النظام اثنين من القنوات على طول النفق ، واحدة لتوريد الهواء النقي واحد لاستنفاد الهواء الملوث .

هذه القنوات يمكن أن تكون موجوده في مستوى عال او منخفض في النفق ، او واحد على ادنى مستوى وواحد علو مستوى عال .وقد استخدمت التهوية العرضية في الماضي حيث أن التهوية الطولية لم تستطع ادارة مستويات الملوثات للانفاق بطريقة كافية . التهوية العرضية هي ايضا فعالة في الانفاق ثنائية الاتجاه (حيث المركبات تتحرك في كلا الاتجاهيين من نفس النفق) فنتيجة لظروف حركة المرور هذه ، تصبح مستويات الملوثات اكثر لذلك توزع بالتساوي على طول النفق .

2- التهوية شبه العرضية

التهوية شبه العرضية هي مزيج مل من التهوية العرضية والطولية . يمكن توفير الهواء النقي من البوابات والذي يستنفد بشكل مستمر على طول النفق من خلال لاصق على طول النفق . بدلا من ذلك الهواء النقي يمكن توفيره بشكل مستمر على طول النفق عبر القناة واستنفدت للخروج من النفق عبر البوابات او كومة .

3- التهوية الطولية :

هي ابسط شكل من انظمة التهوية ، وينطوي على ادخال الهواء النقي من بوابة الدخول وازالة الهواء العادم بالخروج من بوابة الخروج او منفذ التهوية (او مزيج من الاثنين معا) ، وتستخدم للانفاق القصيرة التي هي على بعد (3كم) او اقل في الطول ، ويفضل انظمة التهوية الطولية عموما بسبب تكلفة البناء المنخفضة بالاضافة الى انها تعمل على تخفيف من خطر الحرائق والحفاظ على نوعية وكمية الهواء الكافية ، يمكن تثبيت انظمة التهوية الطولية في انفاق اطول بكثير حوالي (18 كم) لكن تغير نهج تهوية الانفاق واصبح اكثر كفاءة وفعالية ، وكانت التهوية الطولية في مرة واحدة بكميات من الهواء النقي ليست مناسبة لتخفيف الانبعاثات من المركبات لكن بسبب صناعة المركبات الانظف ، والمصممة تصميما جيدا يمكن لنظام التهوية الطولي الان بسهولة الحفاظ على نوعية هواء مقبولة في انفاق ذات طول اكبر . جميع انفاق الطريق التي بنيت في استراليا

خلال اخر 20 عاما قد تم تصميمها مع انظمة تهوية طولية . نفق ميناء سيدني شيد عام 1992 مع نظام تهوية عرضي ولكن مع ذلك يبدو كما لو امه يستخدم التهوية العرضية .

4.16 تصريف الانفاق

في التصميم الجيد لابد من الاخذ في الاعتبار التصريف ، عادة يتم توفير انظمة مضخة في البوابات وعند نقاط منخفضة ، وينبغي توفير الصرف الصحي للطرق في جميع انحاء النفق باستخدام مداخل وانابيب الصرف الصحي ، وايضا تصميم نظام الصرف الصحي للتعامل مع الصرف السطحي وكذلك اي تسلل للمياة الجوفية داخل النفق ، بالاضافة لمناطق اخرى من الانفاق ، مثل انابيب التهوية والمواقع المحتملة للتسرب .

- متطلبات تصريف الانفاق :

يجب ان تكون انفاق الطريق مجهزة بنظام الصرف الصحي الذي يتكون من انابيب وقنوات ومضخة ، وانظم التحكم الامنة والموثوق بها مثل جمع وتخزين والتخلص من المواد التي قد جمعت وما تحتويه وخلاف ذلك .

1- يجب توفر الصرف الصحي في الانفاق للتعامل مع المياة السطحية وكذلك تسرب المياه ، ومع ذلك ينبغي ان يكون حجم خطوط الصرف الصحي وحوض المضخات كافي لاستيعاب تسرب المياه ومتطلبات مكافحة الحرائق .

2- وينبغي ان تصمم بحيث انه في حالة نشوب حريق الا من خلال نظام الصرف الصحي في الانابيب المجاورة وذلك من خلال عزلهم لضمان الامن والسلامة ، لذلك نجد ان الانابيب البلاستيكية ، وانابيب الالياف الزجاجية ، او اي مواد اخرى قابلة للاشتعال لا ينبغي ان تستخدم .

4.17 تنفيذ الانفاق

بعد تحديد مسار النفق وانجاز التحريات الجيولوجية لطبقات التربة والصخور يصمم شكل المقطع العرضي للنفق وهيكله الانشائي ليقاوم الاحمال المنقولة اليه نتيجة الاخلال بعملية التوازن بين الصخور في اثناء حفر النفق ، وعموما يتم اختيار مقطع عرضي دائري او قريب من ذلك ليقاوم القوى الخارجية والداخلية ، وتنفذ أعمال الحفر في الصخور القاسية جدا بالتثقيب والتفجير ، تتم اعمال الحفر في الصخور المتوسطة القساوة بواسطة مكنات حفر الانفاق ، اما في الصخور والتربة الطرية فتنفذ بواسطة درع يتقدم فيضغط التربة الى داخل النفق ، وفي جميع الاحوال تجمع نواتج الحفر (الانقاض) وتنقل الى خارج النفق .

تنفيذ الانفا ق في الصخور الصلبة :

تنفذ الانفاق القصيرة فقط من بوابة النفق ، في حين يتم تنفيذ الانفاق الطويلة بمساعدة انفاق شاقولية او اضافية او بمساعدة نفق صغير موازي للنفق الرئيسي ويتصل به عند عدة نقاط يعد النفق الصغير نقاط عبور للنفق الرئيسي وطريقا ومجاري التهوية وخطوط الصرف .

عندما يكون المقطع العرضي للنفق كبيرا ينفذ الحفر على مرحلتين متتاليتين الاولى للجزء العلوي من المقطع العرضي ، تتبعها الاخرى للجزء السفلي مما يسمح بتزامن اعمال التثقيب للمتفجرات في الجزء العلوي والترحيل في الجزء السفلي ، وعندما تطورت طرائق تنفيذ الانفاق ومعداتها صار من الممكن تنفيذ اعمال الحفر على كامل المقطع العرضي وذلك بعد اختراع اله حفر الثقوب العملاقة الجامبو وهي منصة متحركة ركب عليها اذرع تثقيب عملاقة تستطيع تنفيذ ثقوب لتزرع فيها المتفجرات على كامل وجه النفق (المقطع العرضي) دفعة واحدة .

تحفر ثقوب التفجير بقطر بضع سنتمترات بوساطة مثاقب فولاذية دوارة مع ضخ الماء

عبر ثقب عند رأس المثقب فيبرده من جهة ويخفض كمية الغبار الناتج من الحفر، يتراوح عمق الثقوب بين (1.2م- م3.5) ، ويؤدي نوع الصخور دورا رئيسيا في تحديد عمق التقوب فيقل العمق عندما تكون الصخور ضعيفة ومفككة ، وفي كل الاحوال يجب الايزيد عمق الثقوب عن عرض النفق .

تنفذ الثقوب عادة طبقا لنمط او شكل محدد مسبقا وذلك طبقا لنوع الصخور وشكل طبقاتها ، ويتم تفجير وفق تتابع زمني محدد ، وذلك بغية الحصول على اكبر كمية من ىالحفر في عملية تفجير واحدة ، وقد جرت العادة أن تنفذ مجموعة من الثقوب المائلة الى الداخل على شكل حلقة في مركز وجه النفق وان يتم تفجيرها اولا ومن ثم يتبعها بتاخير زمني قليل تفجير الثقوب الابعد عن المركز والتي تميل الى الخارج ، وذلك باستخدام صواعق تفجير تاخيرية ، ويعتمد مقدار هذا التاخير على طبيعة نوع الصخور .

يتم ازالة الصخور المخربة بالتفجير بواسطة اليات كهربائية مخصصة ، وفي بعض الاحيان عندما تكون تهوية النفق جيدة تستخدم الاليات التي تعمل على الديزل لرفع نواتج الحفر ونقلها الى خارج النفق .

يجب تدعيم النفق مع استمرار الحفر في اغلب شروط الصخور عدا حالة التشكلات الصخرية القاسية لان التدعيم يمنع تساقط الصخور في اثناء اعمال التفجير التالية ويسند كل الصخور التي ضعفت نتيجة اعمال الحفر ولتثبيت كل الصخور مع بعضها خاصة في منطقة السقف حيث يتم ادخال هذة القضبان في الثقوب معدة مسبقا تحقن في اغلب الاحيان حولها مادة رابطة لضمان التماسك بين هذة القضبان وكل الصخور .

4.18 انفاق الطرق

متطلبات التصميم :

1 – فئات من الطرق ومقاسات السيارة .

حجم ونوع المركبات التي سينظر فيها تعتمد على فئة من الطريق . بشكل عام ، يجب عمل تكوين هندسي للنفق لاستيعاب جميع المركبات المحتملة التي تستخدم الطرق المؤدية الى النفق بما في ذلك الافراط في الارتفاع للمركبات مثل المركبات العسكرية اذا لزم الامر ، ومع ذلك ينبغي الا يتجاوز ارتفاع النفق ارتفاع الجسور والمعابر . من ناحية أخرى بعض الطرق مثل المنتزهات تسمح بسيارات الركاب فقط . في مثل هذه الحالات ، يجب تكوين هندسي من نفق استيعاب ارتفاع السيارة السفلي مع الاخذ في الاعتبار ان سيارات الطوارئ مثل سيارات الإطفاء ، ينبغي ان تكون قادرة على المرور عبر النفق ، ما لم يتم توفير مركبات خاصة منخفضة الارتفاع استجابة في حالات الطوارئ . فمن الضروري النظر في التكاليف لان استيعاب عدد قليل جدا من المركبات بسبب التصميم قد لا يكون اقتصاديا .

2 – قدرات المرور :

وينبغي ان تكون انفاق الطريق على الأقل لها قدرة المرور نفسها كما في الطرق السطحية . تشير الدراسات الى ان في الانفاق حيث يتم التحكم في حركة المرور ، والإنتاجية هوا\اكثر من ذلك في الطريق سطح غير المنضبط مما يدل على ان الانخفاض في عدد من الممرات داخل النفق قد

يكون له ما يبرره . ومع ذلك فان الحركة تبطيء اذا كان عرض الممر هو اقل من المعايير (ضيقة جدا) ، وأيضا سقوف منخفضة جدا تعطي انطباعا للسرعة وتميل اللى ابطاء حركة المرور . ولذلك فمن المهم توفير العرض المناسب وكذلك الارتفاع .

3 – التحليلات البديلة .

4 – دراسات الطريق .

5 – البيئة وقضايا المجتمع .

وتعتبر انفاق الطريق اكثر صديقة للبيئة من المنشآت السطحية الأخرى وذلك للأسباب التالية :

_ سينخفض ازدحام حركة المرور من الشوارع المحلية .

_ سوف تتحسن نوعية الهواء بسبب انه يتم التحكم في الملوثات المتولدة من الحركة والتخلص منها بعيدا .

_ سيتم خفض الضوضاء وسيتحسن استخدام سطح الأرض من النواحي الجمالية والبصرية .

_ عن طريق وضع حركة المرور تحت الأرض ، سيتم تحسين قيمة العقارات والمجتمعات ستكون اقل تأثيرا على المدى الطويل .

_ سوف تعطي فرصا لتطوير الأراضي على طول وعلى محاذاة النفق والتنمية الاقتصادية ستتحسن .

عند تخطيط النفق ينبغي بذل احكام لمعالجة الجوانب التشغيلية وصيانة النفق ومراقبة حركة المرور ، والتهوية ، والاضاءة ، وأنظمة سلامة الحياة ، وصيانة المعدات ، وتنظيف النفق ، وما شابه ذلك كما تم ذكره .

6_ الاستدامة :

الانفاق لديها عادة أطول متوسط للعمر المتوقع من متوسط عمر متوقع لمنشأة سطحية (125 مقابل 75 سنة) .

4.19 الاحمال

على المهندس الاخذ بالاعتبار جميع الاحمال المؤثرة على المنشأة طوال فترة خدمتها .

: انواع الاحمال الأساسية :

1_الاحمال الدائمة : هي الاحمال التي تؤثر على المنشأ في فترة زمنية ممتدة قد تصل أحياناً إلى طول عمر المنشأة أي أنها تزول بزوال المنشأ وهي تشمل الوزن الذاتي لجميع مكونات المنشأة بالإضافة للضغط الناتج من رد فعل التربة وضغط التربة وغيرها .

2_ الأحمال المؤقتة : هي الاحمال التي تتغير مع الزمن ويمكن استخدامها في جميع المواقع والاتجاهات وهي ذات قيمة متغيرة وعالية وتشمل الاحمال الناتجة من العربات والسكك الحديدية وأيضا الاحمال التي تتعرض لها المنشأة نتيجة التغييرات المناخية والتشوهات الحرارية والرياح والمياه والانهيارات الجلدية والزلازل وغيرها.

ومسؤولية المهندس هي توقع اي هذه الاحمال هي الأكثر ملائمة للمنشأة تحت هذه الظروف بالإضافة إلى مقدار هذه الاحمال وكيفية تأثيرها ويقوم بتطبيق الأحمال الحرجة منها. كناتج نهائي يتم عمل الأحمال في شكل مجموعات حسب المعاملات ومن ثمّ الأخذ بالاعتبار اكثر مجموعة ملائمة حسب الحالة الحدية .

الاحمال التي تتعرض لها المنشأة

1. Dead Load (DC)

يتكون من الوزن الذاتي لمكونات المنشأة بالإضافة إلى الملحقات الغير انشائية التي تزود بها المنشأة ، وتشمل هذه الملحقات الإشارات، الحواجز، انظمة الإضاءة ، التشطيبات المعمارية وأنظمة الحماية من المياه وغيرها .

2. Dead Load (DW)

يتكون من الوزن الذاتي للطبقة السطحية واوزان خطوط الخدمات العامة مثل خطوط الكهرباء ، الاتصالات ، انابيب التصريف وخطوط الإمداد بالمياه وغيرها . وقد تكون الطبقة السطحية من الاسفلت او الخرسانة لذلك يجب حساب وزنها ووزن خطوط الخدمات العامة حسب المواد المكونة لها . ونجد أن الأحمال الناتجة من وزن الاسطح الخارجية لها قدرة كبيرة على التغير مقارنة بالأحمال الناتجة من وزن المنشأة.

3. Horizontal Earth Pressure Load (EH)

عبارة عن الاحمال الناتجة من ضغط التربة الجانبي ، ولحساب هذه الاحمال يتطلب معرفة معلومات جيولوجية يتم استخراجها من عمليات المسح الحقلي وتحريات التربة.

4. Accumulated Locked – in force effect (EL)

يتكون من تأثير القوى الداخلية المتراكمة الناتجة من عمليات التشييد بالإضافة إلى القوى الثانوية الناتجة من سبق الإجهاد اذا كان مستخدما .

5. Earth Surcharge Load (ES)

عبارة عن حمل ميت اضافي ناتج من القوى الرأسية الناتجة من الردميات أو الطبقات الإضافية فوق مستوى سطح الأرض.

6. Vertical Pressure from the dead Load of the earth fill (EV)

عبارة عن القوى الرأسية الناتجة من الحمل الميت لطبقة الردم فوق النفق حتى مستوى سطح الأرض الطبيعي ، يتم حساب هذا الحمل عن طريق المعلومات الجيولوجية التي يتم استخراجها من عمليات المسح الحقلي وتحريات التربة .

7. Creep

الحمل الناتج من الزحف.

8. Vehicular collision force (CT)

عبارة عن القوى الناتجة من تصادم السيارات ،وهذه القوى يتم تطبيقها على مكونات النفق التي يمكن أن تتأثر بهذه

محمية بواسطة دعامات لذلك قد لا تتأثر هذه الحوائط بالقوى القوى كل على حدى ، عادة ما تكون حوائط النفق ذات اوزان كبيرة أو تكون

. الناتجة من تصادم السيارات لذلك يجب معرفة تفاصيل كل عضو انشائي.

9. Earthquake (EQ)

عبارة عن الحمل الناتج من الهزات الأرضية ، ويجب تطبيق هذا الحمل على الأجزاء المعرضة للزلازل.

10. Vehicular dynamic load allowance (IM)

عبارة عن الحمل الناتج من حركة السيارات ، ويمكن تطبيق هذا الحمل على بلاطة ممر السيارات او السكك الحديدية أو أي ممرات تحمل مركبة متحركة.

11. Vehicular live load (LL)

عبارة عن الحمل الناتج من المركبات ، ويمكن تطبيق هذا الحمل على بلاطة ممر السيارات داخل النفق وعلى بلاطة السقف التي تكون مشيدة تحت ممر سيارات او سكك حديدية أو أي ممرات تحمل مركبات متحركة ، ويمكن توزيع هذا الحمل على التربة قبل تسليطه على بلاطة السقف إلا إذا كانت حركة السيارات تقع فوق بلاطة السقف مباشرة.

4.20 تخطيط الطرق

عند تخطيط الطريق يتم الاخذ في عين الاعتبار مصطلحين عند التصميم .

- ممر السيارات(traffic lane)

هي عبارة عن الممرات الطريق التي يتم تخطيطها بعد تشييد الطريق لتناسب حجم المرورو وحركة السير وهي عادة ما تؤخذ 12 قدم (3600ملم) .

- الممر التصميمي (Design lane)

هي ممرات الطريق التي يتم تحديدها بواسطة المهندس ليضع عليها الاحمال الحية ويمكن ان تكون مساوية ل (traffic lane) ولكن عادة ما تؤخذ 10 قدم وفق منطلبات دليل التصميم (AASHTO) ويتم وضع السيارت على ال (Design lane) بحيث يعطي اكبر تاثير للاحمال .

يمكن حساب عدد الممرات ال (design lane) باخذ عدد صحيح من ناتج قسمة عرض الطريق الصافي (المسافة بين الحواجز او الارصفة) على 12 قدم .في حالة كان عرض الطريق اقل من 12 قدم يكون عدد وعرض ال (design lane) مساوي لعدد وعرض ال (traffic lane) اما اذا كان عرض الطريق من 20 – 24 قدم يتم استخدام (2 design lane) ويكون عرضها نصف عرض ال (traffic lane) .هناك بعض الاوجه الاساسية التي تحكم التصميم مثل اتجاه الطريق ، الحالات الحرجة ووجود منشأت او منعطفات .