



Norra Djurgårdsstaden

# Grundvattenriktvärden för byggnad med källare i kontakt med grundvatten

2022-01-14



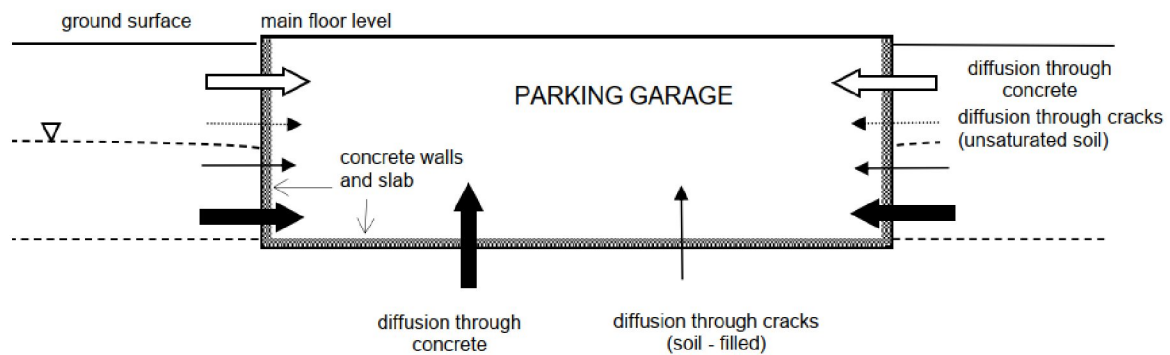
Stockholms  
stad



# GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN FÖR BYGGNAD MED KÄLLARE I KONTAKT MED GRUNDVATTEN

NORRA DJURGÅRDSSTADEN, STOCKHOLMS STAD

2022-01-14



wsp

# GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN FÖR BYGGNAD MED KÄLLARE I KONTAKT MED GRUNDVATTEN

Norra Djurgårdsstaden, Stockholms stad

## KUND

**Stockholms stad - Exploateringskontoret**

## KONSULT

### **WSP Environmental Sverige**

Dragarbrunnsgatan 41

753 20 Uppsala

Besök: Dragarbrunnsgatan 41

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

**wsp.com**

## KONTAKTPERSONER

Hanna Almqvist, sakkunnig riskbedömning

010-727 73 57

hanna.almqvist@wsp.com

Helena Furst, uppdragsledare

010-722 83 37

helena.furst@wsp.com

UPPDRAGSNAMN  
Miljöutredningar Loudden

UPPDRAGSNUMMER  
10267934

FÖRFATTARE  
Hanna Almqvist

DATUM  
2022-01-14

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av  
Lena Torin

Godkänd av  
Helena Furst

## INNEHÅLL

1	UPPDRAG OCH SYFTE	4
2	SHALLOW GROUNDWATER VAPOR INTRUSION MODEL (SGVIM)	5
3	INDATA FÖR MODELLERING AV ÅNGTRANSPORT I SGVIM	6
4	RESULTAT FRÅN MODELLERING	9
4.1	FRAMTAGANDE AV UTSPÄDNINGSKOEFFICIENTER, A	9
4.2	BERÄKNING AV GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN	9
4.2.1	Andel av exponeringen från det förorenade området	9
4.2.2	Justering av acceptabel cancerrisk	9
4.2.3	Justering med hänsyn till utspädning i källarplan	10
5	KÄNSLIGHETSANALYS AV FRAMTAGNA GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN	10
5.1	TORTUOSITETSFAKTORN	11
5.2	BYGGNADENS STORLEK	11
5.3	GRUNDVATTENYTANS LÄGE	12
5.4	LUFTOMSÄTTNINGEN	14
5.5	SLUTSATSER FRÅN KÄNSLIGHETSANALYSEN	14
6	GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN	14
7	UTVÄRDERING AV FRAMTAGNA GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN	16
8	REFERENSER	17

# 1 UPPDRAG OCH SYFTE

Stockholms stads Exploateringskontor tar, med hjälp av flertalet olika ramavtalskonsulter, fram riskbedömningar av markföroreningar i jord och grundvatten inom Norra Djurgårdsstaden. I arbetet har det framkommit behov av riktvärden för grundvatten i de fall då byggnadens grundläggning står i kontakt med grundvattenytan. Varken svenska eller amerikanska Naturvårdsverkets modeller kan beräkna ångtransport in i en byggnad om byggnadens grundläggning står i kontakt med förorenat grundvatten. Därför används istället modellen *Shallow Groundwater Vapor Intrusion Model* (SGVIM), som har utvecklats av Golder Associates i Kanada för att ta hänsyn till denna typ av föroreningstransport.

Modellering med SGVIM genomfördes första gången för delområdet Kolkajen-Ropsten (Golder, 2019 och 2020). Exploateringskontoret har nu bett WSP Sverige AB (WSP) och Golder Associates AB (Golder) att ta fram motsvarande riktvärden för fler föroreningar, samt att se över de byggnadstekniska indata som använts i modelleringen. Syftet är att riktvärdena ska kunna användas inom fler delar av Norra Djurgårdsstaden.

Riktvärden har tagits fram för de ämnen som listas i Tabell 1. Riktvärden har inte tagits fram för PAH-H eftersom det i tidigare utredningar har visats att dessa inte orsakar en reell ånginträngningsrisk (Golder, 2019). Riktvärden har heller inte tagits fram för tyngre alifater och aromater (>C16) då inte heller dessa bedöms tillräckligt flyktiga.

Tabell 1. Ämnen för vilka grundvattenriktvärden har beräknats för byggnad med källare i kontakt med grundvatten. För ämnen inom parentes har riktvärden inte beräknats, naftalenriktvärdet används även för dessa.

BTEX	Bensen	PAH-L	Naftalen
	Toluen		(Acenaftylen)
	Etylbensen		(Acenaften)
	Xylener		Fluoren
Alifater & aromater	Alifater >C5–C8	PAH-M	Fenantren
	Alifater >C8–C10		Antracen
	Alifater >C10–C12		Fluoranten
	Alifater >C12–C16		Pyren
	Aromater >C8–C10		
	Aromater >C10–C16		

## 2 ORGANISATION

I uppdraget har följande personer varit delaktiga:

- Helena Furst, Uppdragsansvarig, förorenade områden, WSP Sverige AB
- Hanna Almqvist, sakkunnig riskbedömning förorenade områden, WSP Sverige AB
- Veronica Ribé, sakkunnig riskbedömning förorenade områden, WSP Sverige AB
- Andreas Ljungberg, byggnadsprojektör, WSP Sverige AB
- Helena Romelsjö, genomfört modellering, Golder Associates AB
- Lena Torin, specialist förorenade områden, WSP Sverige AB

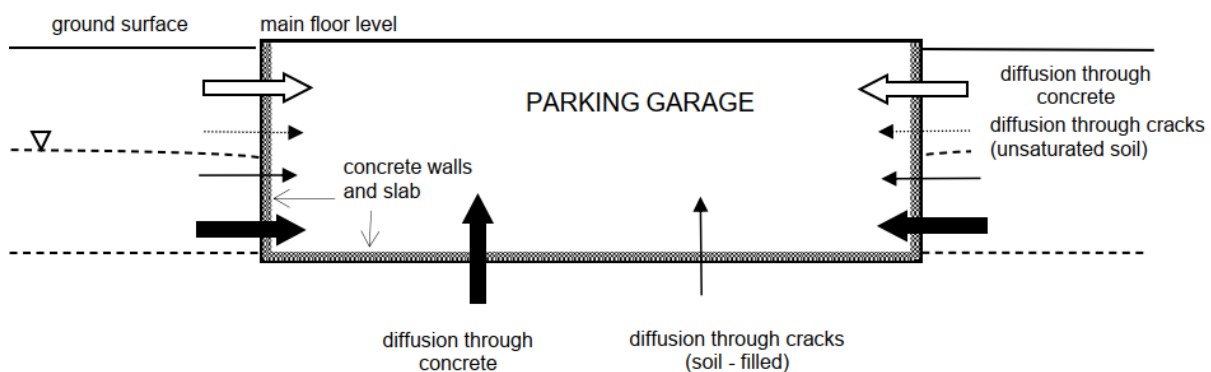
### 3 SHALLOW GROUNDWATER VAPOR INTRUSION MODEL (SGVIM)

Shallow Groundwater Vapor Intrusion Model (SGVIM) är en Excel-baserad modell för skattning av ånginträngning i de fall en byggnads grundläggning står i kontakt med en förorenad grundvattenyta (Golder, 2019). Den är främst avsedd för användning vid byggnader med underjordiskt garage eller för kommersiella eller industriella byggnader med källarplan. Den bedöms även lämplig att använda för flerbostadshus med källare.

Modellen simulerar föroreningstransporten genom grundläggning i betong genom diffusion och momentan omblandning av ånga i hela källarplanet. Modellen är uppdelad i två delar:

- Grundplattan, där grundvattnet antas vara i kontakt med grunden, samt
- Byggnadens källarväggar, där grundvattnet antas vara i kontakt med den del av väggen som är under grundvattenytan och där porluft är i kontakt med den del av väggen som är belägen ovan vattenytan, i omättad zon (Figur 1).

Vid framtagande av grundvattenriktvärden antas ingen föroreningstransport ske via förorenad jord i kontakt med byggnaden, utan transporten sker helt i ång- eller vattenfas från det förorenade grundvattnet. Föroreningstransport från eventuell föroreningskälla i omättad zon omfattas således inte. Inom Norra Djurgårdsstaden bedöms detta som ett rimligt antagande då massor ovan grundvattenytan generellt omfattas av åtgärdsområde för jord.



**Figur 1.** Konceptuell modell över komponenter och processer vid ånginträngning i källarplan under grundvattenyta (Källa: Golder, 2019). I modellen inkluderas även ett alternativt scenario med vattenfyllda sprickor, se nedan. De vita pilarna i figuren visar föroreningstransport från förorenat grundvatten via ångfas i jorden ovan grundvattnet.

Ånginträngning antas ske på flera olika sätt, vilka beskrivs av diffusionen av porluft genom betongplatta i kontakt med vatten och källarväggar i den mättade och omättade zonen. Betongen i grundläggningen antas ha sprickor som är jämnt fördelade över både bottenplattan och väggarna, vilka antas vara igenfyllda med damm alternativt vatten. Lättare flyktiga ämnen transporteras lättast genom torra sprickor medan tyngre ämnen transporteras lättast i vattenfas. För att inte riskera att underskatta risker används den diffusionsväg som ger störst ångtransport för respektive ämne.

Modellen inkluderar en valbar funktion med en genomföring i betongplattan under byggnaden, denna har dock inte använts i aktuellt fall eftersom inga genomföringar kommer att göras under grundvattenytan i aktuella byggnadstyper. Skattning av föroreningskoncentrationen i luften i ovanliggande byggnad/våningsplan omfattas inte av modellen, utan endast halten i luften i källarplanet modelleras. I byggnaderna i Norra Djurgårdsstaden kommer ingen stadigvarande vistelse ske i källarplan. För att bedöma föroreningshalter i inomhusluft ovan källarplan har därför

modellerade grundvattenriktvärden multiplicerats med tre. Denna faktor härrör från de Storstadsspecifika riktvärdena för jord i Stockholm (Stockholms stad, 2019) och beskrivs utförligare i senare avsnitt.

I modellen antas att transport genom advektion av porluft inte förekommer eftersom grundvatten antas vara i kontakt med huvuddelen av källaren och därmed finns begränsad möjlighet för luftflöde till område under grundläggningen.

## 4 INDATA FÖR MODELLERING AV ÅNGTRANSPORT I SGVIM

För modellering av ångtransport och framtagande av utspädningskoefficienter för vidare beräkning av grundvattenriktvärden för byggnad med källare i kontakt med grundvatten krävs indata i form av ämnesspecifika parametrar avseende flyktighet och diffusivitet, se Tabell 2. För bensen och PAH-ämnen har indata tagits fram i tidigare modellering för Kolkajen-Ropsten (Golder, 2019 och 2020). Värden är hämtade från amerikanska Naturvårdsverkets Johnson & Ettinger-modell (USEPA, 2017), förutom för fenantren och fluoranten, vilka saknas i Johnson & Ettinger. Värden för dessa ämnen har istället hämtats från RAIS (för mer detaljer se Golder, 2019 och 2020).

För övriga ämnen har indata tagits fram genom en genomgång av ämnesdata i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell (Naturvårdsverket, 2009/2016), nordamerikanska Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Groups (TPHCWG) series, volym 3 (Fate and Transport) (TPHCWG, 1997), US EPAs beräkningsverktyg för Johnson & Ettinger-modellen (USEPA, 2017) samt kanadensiska Canadian Council of Ministers of the Environments (CCME) och Health Canadas beräkningsverktyg "Spreadsheet tool for Human Health for Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA)" (CCME, 2011), se Tabell 3.

Utifrån jämförelsen av ämnesdata valdes indata för alifat- och aromatfraktioner från Naturvårdsverkets modell, medan för BTEX-ämnena toluen, etylbensen och xylen togs indata från beräkningsverktyget för Johnson & Ettinger-modellen. I Naturvårdsverkets modell har värden för Henrys konstant för alifat- och aromatfraktioner valts som medelvärde för de ämnen som ingår i respektive fraktion utifrån TPHCWG:s data i, vol 3. Värden har av Naturvårdsverket valts utifrån antal kolatomer och inte det ekvivalenta antalet kol (EC) som används av TPHCWG, detta ger dock inte någon stor skillnad för värdena för Henrys konstant. Urvalet av ingående ämnen i aromatfraktionerna har av Naturvårdsverket baserats på ämnen inkluderade i SPIMFAB:s aromatanalyser; för aromatfraktion >C8 – C10 ingår metylerade och etylerade bensener och för fraktionen >C10 – C16 ingår alkylerade PAH.

Ingen temperaturjustering av Henrys konstant eller diffusivitetskonstanter för alifater och aromatfraktioner har gjorts i indata till Naturvårdsverkets modell (Elert, M. 2021). Diffusivitetskonstanterna för luft och vatten är generella och inte ämnesspecifika i Naturvårdsverkets modell (gäller alla ämnen). Den generella diffusivitetsfaktorn för vatten är avrundad till samma värde som det generella värde som föreslås av TPHCWG och som används i CCME/Health Canadas beräkningsverktyg. Den generella diffusivitetskonstanten för luft i Naturvårdsverkets modell är mer konservativ än den som används i CCME:s beräkningar, men något mindre konservativ än den föreslagna av TPHCWG. För BTEX-ämnena har temperaturjustering gjorts av Henrys konstant i enlighet med Johnson & Ettingers modell.

Tabell 2. Indata till SGVIM-modellen för modellering av ångtransport i byggnad med källare i kontakt med grundvatten.

Parameter	Molekylvikt	Henrys konstant*	Diffusivitet i luft, Dog	Diffusivitet i vatten, Dow**
Enhet	g/mol	-	cm <sup>2</sup> /s	cm <sup>2</sup> /s
Bensen	78,11	0,12	0,09	0,00001
Toluen	92,15	0,14	0,068	0,0000092
Etylbensen	106,16	0,13	0,078	0,00001
Xylen	106,16	0,11	0,069	0,0000085
Alifater >C5 - C8	110	60	0,081	0,00000995
Alifater >C8 - C10	130	140	0,081	0,00000995
Alifater >C10 - C12	160	200	0,081	0,00000995
Alifater >C12 - C16	210	160	0,081	0,00000995
Aromater >C8 - C10	120	0,43	0,081	0,00000995
Aromater >C10 - C16	145	0,027	0,081	0,00000995
Naftalen	128,17	0,006	0,061	0,0000084
Fluoren	166,223	0,00097	0,044	0,000008
Fenantren	178,234	0,000553	0,034	0,000007
Antracen	178,234	0,00047	0,039	0,000008
Fluoranten	202,256	0,000105	0,028	0,0000072
Pyren	202,256	0,000078	0,028	0,000007

\* Temperaturjusterad för TEX-ämnena

\*\* Ämnesspecifik för BTEX-ämnena och PAH

Tabell 3. Referenser till indata till SGVIM för modellering av ångtransport i byggnad med källare i kontakt med grundvatten.

PARAMETER	ÄMNE	REFERENS
Molekylvikt	BTEX-ämnena	US EPA, 2017. (Johnson & Ettinger-modell)
	Alifatiska och aromatiska fraktioner	TPHCWG, 1997/CCME, 2011.
	PAH-ämnena	Syracuse Research Corporation (SRC) Physical Properties Database (PhysProp)
Henrys konstant	BTEX-ämnena	US EPA, 2017. (Johnson & Ettinger), temperaturjustering 10°C
	Alifatiska och aromatiska fraktioner	Naturvårdsverket (2009/2016), baserade på TPHCWG, 1997, temperatur enligt NV
	PAH-ämnena	Syracuse Research Corporation (SRC) Physical Properties Database (PhysProp), Johnson och Ettinger. Temperaturjustering 10 °C
Diffusivitet i luft och vatten	BTEX-ämnena	US EPA, 2017. (Johnson & Ettinger)
	Alifatiska och aromatiska fraktioner	Naturvårdsverket (2009/2016)
	PAH-ämnena	USEPA Regional Screening Levels (RSL) tables, Chemical Specific Parameters



Utöver de ämnesspecifika indata som redovisas ovan har antaganden gjorts med avseende på byggnadstekniska parametrar samt jordens egenskaper. I Bilaga 1 redovisas en sammanställning av relevanta byggnadstekniska indata för svenska förhållanden. Sammanställningen är gjord av byggprojektör på WSP Sverige AB. Parametervärdena som framkom utvärderades i en känslighetsanalys, vilken presenteras i senare avsnitt. Utifrån känslighetsanalysens resultat valdes de indata som presenteras i Tabell 4. Dessa baseras på byggnad under grundvattenyta (se tabell 1 i Bilaga 1), men har, av konservativa skäl, justerats så att byggnaden är mindre och luftomsättningen lägre.

För beräkningar i denna PM, vilka avser ångtransport genom byggnad som har kontakt med förorenat grundvatten används indata för byggnad under grundvattenytan, se Tabell 4.

Tabell 4. Byggnadstekniska indata till modelleringen, avser byggnad under grundvatten

Under grundvatten		
Luftomsättning	0,5	/timme
Bottenplattans storlek	300	m <sup>2</sup>
Pumpgrop area	0	m <sup>2</sup>
Tortuositetsfaktor <sup>1</sup>	0,004	-
Betongväggars mäktighet	0,3	m
Bottenplattans mäktighet	0,35	m
Betongens sprickighet	0,001	andel
Genomföringar	Nej	

<sup>1</sup> Ett mått på betongens täthet

Övriga indata som använts är hämtade från SGVIM-modelleringen för Kolkajen-Ropsten och innebär bland annat att källarens takhöjd/omblandningsvolymen ansätts till 3,66 m och den totala porositeten (enhetslös) i jorden antas vara 0,35 medan den vattenfyllda porositeten antas vara 0,05. Jordegenskaperna används i modellen för att beskriva det material som finns i sprickor i betongen.

Vidare så har en känslighetsanalys gjorts avseende följande parametrar i syfte att utvärdera lämpligast indata till de slutgiltiga grundvattenriktvärdena:

- **Tortuositetsfaktorn**, värden för radonsäkert byggande (0,01) och byggande under grundvattenytan (0,004) har använts
- **Byggnadens storlek**, 300 m<sup>2</sup> och 800 m<sup>2</sup> har använts
- **Djup till grundvattenytan**, 0,5 m, 2 m och 3 m under markytan har använts (byggnadens bottenplatta antas i samtliga fall ligga 3 m under markytan)
- **Luftomsättning**, Naturvårdsverkets generella värde (0,5 gånger/timme) har jämförts med värdet som erhållits från byggprojektör (0,65 gånger/timme, se Bilaga 1).

## 5 RESULTAT FRÅN MODELLERING

### 5.1 FRAMTAGANDE AV UTSPÄDNINGSKOEFFICIENTER, $\alpha$

De utspädningskoefficienter som har beräknats med hjälp av SGVIM redovisas i Tabell 9. Koefficienterna avser utspädningen mellan porgas (spridning från grundvatten) och inomhusluft i källarplan vid de förhållanden som anges i Tabell 4.

### 5.2 BERÄKNING AV GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN

Grundvattenriktvärden (i  $\mu\text{g/l}$ ), dvs. de maximala koncentrationer som kan föreligga i grundvatten utan att kriterier för inomhusluft överskrids, har beräknats enligt följande:

$$C_{gw} = \frac{C_{IA}}{\alpha \cdot H'}$$

Där  $C_{IA}$  är den acceptabla koncentrationen i inomhusluft ( $\text{mg/m}^3$ ),  $\alpha$  är utspädningsfaktorn enligt tabellen ovan och  $H'$  är Henrys konstant (se Tabell 1). Som acceptabel koncentration i inomhusluft ansätts de lågriskreferenskoncentrationer som redovisas i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell benämnda  $RfC$  för icke genotoxiska ämnen och  $RISKinh$  för genotoxiska ämnen (NV, 2009/2016).

#### 5.2.1 Andel av exponeringen från det förorenade området

För ämnen som inte är genotoxiska antas, i enlighet med Naturvårdsverkets modell, att det förorenade området inte får inteckna hela exponeringen för en viss förorening. För de i modelleringen ingående ämnena ansätter Naturvårdsverket att 50 % av den totala exponeringen ska kunna komma från andra källor, vilket också ansätts i beräkningarna av  $C_{gw}$ , dvs.  $C_{IA}$  har satts till  $RfC \cdot 0,5$ .

#### 5.2.2 Justering av acceptabel cancerrisk

För genotoxiska ämnen görs ingen motsvarande justering av Naturvårdsverket. För dessa justeras istället den acceptabla cancerriskerna. I Naturvårdsverkets vägledning accepteras en cancerrisk på 1/100 000, vilket innebär ett extra cancerfall på 100 000 personer exponerade för det förorenade området under en livstid. För PAH har cancerrisken satts till 1/100 000 för PAH-grupperna PAH-M och PAH-H, men till 1/1 000 000 för enskilda PAH. Detta motiveras av att PAH nästan alltid förekommer i blandningar där flera olika cancerogena PAH-föreningar ingår (NV, 2009). Naturvårdsverket har tagit fram riktvärden för 16 PAH där 13 stycken (PAH-M och PAH-H) klassas som cancerogena. Justeringen av den acceptabla cancerkvoten kan då beskrivas enligt:

$$\frac{1}{100\,000} \div 13 = \frac{1}{1\,300\,000} \approx \frac{1}{1\,000\,000}$$

För inandning av ångor, som är den enda exponeringsväg som är relevant för grundvattnet vid Kolkajen-Ropsten, är dock PAH-H inte relevanta, då dessa inte förångas (se utförlig redogörelse för detta i Golder, 2019). Det innebär att den acceptabla cancerrisken endast behöver divideras på de fem cancerogena ämnena i gruppen PAH M, vilket ger en acceptabel cancerrisk för varje enskild PAH på 1/500 000. Detta innebär i sin tur en dubblering av de enskilda  $RISKinh$ -värdena.

$$\frac{1}{100\,000} \div 5 = \frac{1}{500\,000}$$

Denna cancerrisk har använts vid framtagande av humantoxikologiska referensvärden i föreliggande utredning.

### 5.2.3 Justering med hänsyn till utspädning i källarplan

Det grundvattenriktvärde som har beräknats utifrån ovanstående baseras på en acceptabel inomhusluftkoncentration i källarplan motsvarande bostadsändamål. Källare kommer dock inte nyttjas för bostadsändamål, och därmed kommer ingen vistas där regelbundet. Därför justeras riktvärdena även genom att ansätta en utspädningsfaktor om tre gånger. Utspädningsfaktorn härrör från de Storstadsspecifika riktvärdena för jord i Stockholm (Stockholms stad, 2019) och är framtagen baserat på internationella empiriska studier av utspädning i källare och radonmätningar i kommersiella lokaler i Stockholms stad. I utspädningsfaktorn har man också tagit hänsyn till att inläckaget av markluft i en källare potentiellt är större än i markplan, eftersom både källargolv och -väggar är i kontakt med jorden. I de Storstadsspecifika riktvärdena anges att utspädningen mellan källare och bottenplan är ungefär fem gånger. Eftersom hänsyn även tas till att förorening kan tränga in via väggarna, sänks dock faktorn till tre gånger.

Vid modellering med SGVIM är egentligen multiplicering med faktor 3 en underskattning. I SGVIM-modellen (och Johnson och Ettingers modell) tas redan hänsyn till att föroreningen kan transporteras in genom väggarna, vilket skulle innebära att utspädningsfaktorn istället ska vara fem. Men, eftersom det i SGVIM-modellen har antagits en omblandningsvolym som är större än källarens volym (3,6 m höjd istället för antagen våningshöjd 2,4 m), vilket ger en utspädningsfaktor om 1,5 ( $3,6/2,4 = 1,5$  gånger), blir den totala utspädningen om faktorn tre används för SGVIM-modelleringen  $3 \times 1,5 = 4,5$ , vilket är något lägre än 5. För enkelhets skull används ändå denna faktor 3, då det är samma som i de Storstadsspecifika riktvärdena.



## 6 KÄNSLIGHETSANALYS AV FRAMTAGNA GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN

En känslighetsanalys av modelleringen har gjorts, vilken redovisas nedan.

### 6.1 TORTUOSITETSFAKTORN

Tortuositetsfaktorn har störst betydelse för framräknade riktvärden. Om tortuositetsfaktorn sätts till 0,004 (motsvarande vattentät betong, vilket kan antas gälla för byggnader under grundvattenytan) istället för 0,01 (vilket kan antas gälla för generellt radonsäkert utförande) blir de framräknade riktvärdena omkring 2,5 gånger högre.

En högre tortuositetsfaktor ger alltså lägre riktvärden, vilket förklaras med att en mer genomsläpplig betong (vilket beskrivs som hög tortuositetsfaktor) kan släppa igenom mer ångor, och därmed innebär en större risk.

Tabell 5. Känslighetsanalys av tortuositetsfaktorn. Procentsiffrorna anger hur höga beräknade riktvärden blir, i förhållande till värdet i första kolumnen (i detta fall en tortuositetsfaktor på 0,01)

	Tortuositetsfaktor [-]	
	0,01	0,004
Bensen	100%	250%
Toluen	100%	245%
Etylbensen	100%	244%
Xylener	100%	244%
Alifater >C5–C8	100%	246%
Alifater >C8–C10	100%	250%
Alifater >C10–C12	100%	235%
Alifater >C12–C16	100%	254%
Aromater >C8–C10	100%	244%
Aromater >C10–C16	100%	244%
Naftalen	100%	245%
Fluoren	100%	243%
Fenantren	100%	245%
Antracen	100%	245%
Fluoranten	100%	246%
Pyren	100%	249%

## 6.2 BYGGNADENS STORLEK

Byggnadens storlek har relativt liten betydelse för det framräknade riktvärdet. Om byggnaden antas vara 800 m<sup>2</sup> istället för 300 m<sup>2</sup> blir de framräknade riktvärdena mellan 8 och 15 % högre.

En mindre byggnad ger alltså lägre riktvärden (mer konservativt).

Tabell 6. Känslighetsanalys av byggnadens storlek. Procentsiffrorna anger hur höga beräknade riktvärden blir, i förhållande till värdet i första kolumnen (i detta fall en byggnadsarea på 300 m<sup>2</sup>)

Byggnadens storlek [m <sup>2</sup> ]		
	300	800
Bensen	100%	111%
Toluen	100%	112%
Etylbensen	100%	112%
Xylener	100%	111%
Alifater >C5–C8	100%	111%
Alifater >C8–C10	100%	111%
Alifater >C10–C12	100%	115%
Alifater >C12–C16	100%	108%
Aromater >C8–C10	100%	112%
Aromater >C10–C16	100%	112%
Naftalen	100%	112%
Fluoren	100%	112%
Fenantren	100%	111%
Antracen	100%	112%
Fluoranten	100%	112%
Pyren	100%	112%

## 6.3 GRUNDVATTENYTANS LÄGE

Grundvattenytans läge har relativt liten betydelse för det framräknade riktvärdet. Om grundvattenytan antas vara 2 m under markytan istället för 3 m under markytan blir riktvärdet 5–7 % lägre. Om grundvattenytan antas vara 0,5 m under markytan blir riktvärdet 13–15 % lägre (Tabell 7).

En yttligare grundvattenyta ger alltså lägre riktvärden (mer konservativt), vilket förklaras med att massflödet är större genom betong i mättad zon än genom betong i omättad zon.

Tabell 7. Känslighetsanalys av grundvattenytans läge. Procentsiffrorna anger hur höga beräknade riktvärden blir, i förhållande till värdet i första kolumnen (i detta fall en grundvattenyta belägen 3 meter under markytan)

	Grundvattenytans läge [m u my]		
	3	2	0,5
Bensen	100%	93%	85%
Toluen	100%	94%	85%
Etylbensen	100%	93%	85%
Xylener	100%	93%	85%
Alifater >C5–C8	100%	93%	86%
Alifater >C8–C10	100%	95%	85%
Alifater >C10–C12	100%	93%	87%
Alifater >C12–C16	100%	93%	85%
Aromater >C8–C10	100%	93%	85%
Aromater >C10–C16	100%	93%	85%
Naftalen	100%	94%	85%
Fluoren	100%	93%	85%
Fenantren	100%	94%	85%
Antracen	100%	93%	85%
Fluoranten	100%	93%	86%
Pyren	100%	93%	85%



## 6.4 LUFTOMSÄTTNINGEN

Luftomsättningen i byggnaden har relativt stor betydelse för framräknade riktvärden. Om luftomsättningen ökas med 30 % (från 0,5 till 0,65 gånger per timme) blir de framräknade riktvärdena omkring 30 % högre (25–31 %) vilket förklaras med att en högre luftomsättning i byggnaden gör att den ånga som tränger in från marken späds ut mer på grund av att mer atmosfärluft tas in i byggnaden via ventilationen.

Tabell 8. Känslighetsanalys av luftomsättningen. Procentsiffrorna anger hur höga beräknade riktvärden blir, i förhållande till värdet i första kolumnen (i detta fall en luftomsättning på 0,5 gånger/timme)

Luftomsättning [gånger/timme]		
	0,5	0,65
Bensen	100%	130%
Toluen	100%	131%
Etylbensen	100%	130%
Xylener	100%	130%
Alifater >C5–C8	100%	131%
Alifater >C8–C10	100%	130%
Alifater >C10–C12	100%	130%
Alifater >C12–C16	100%	125%
Aromater >C8–C10	100%	130%
Aromater >C10–C16	100%	130%
Naftalen	100%	130%
Fluoren	100%	130%
Fenantren	100%	130%
Antracen	100%	130%
Fluoranten	100%	130%
Pyren	100%	130%

## 6.5 SLUTSATSER FRÅN KÄNSLIGHETSANALYSEN

För att riktvärdena ska kunna användas inom hela Norra Djurgårdsstaden föreslås att grundvattenytan antas vara belägen 0,5 meter under markytan, att byggnaden antas vara 300 m<sup>2</sup> stor och att luftomsättningen är 0,5 gånger/timme. Dessa är de mest känsliga värdena för dessa parametrar. Vad gäller tortuositetsfaktorn föreslås dock att det lägre värdet, 0,004, som gäller för vattentät betong, används. Detta då en betong av så hög kvalitet kommer behöva användas om byggnaderna ska vara nedsänkta under grundvattenytan, och de riktvärden som räknas fram i denna PM endast gäller för det fallet. Det finns därmed inte anledning att använda det mer konservativa värdet, vilket gäller för byggnader som inte byggs med vattentät betong.

## 7 GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN

I Tabell 9 redovisas framräknade grundvattenriktvärden för byggnad med källare i kontakt med grundvatten. Grundvattenriktvärdena är beräknade utifrån scenariot där grundvattenytan är belägen 0,5 m under markytan, byggnaden är 300 m<sup>2</sup> stor och betongen är vattentät. De framräknade riktvärdena kan användas som utgångspunkt för mätbara åtgärds mål inom Norra Djurgårdsstaden. I tabellen redovisas även utspädningskoefficienter, vilket är det värde som erhålles ur SGVIM-modellen. Koefficienterna avser utspädningen mellan porgas (spridning från grundvatten) och inomhusluft i källarplan vid de förhållanden som anges i Tabell 4.

Tabell 9. Framtagna platsspecifika grundvattenriktvärden för byggnad med källare i kontakt med grundvatten (avrundade siffror). I tabellen redovisas även humantoxikologiska referenskoncentrationer, justerade enligt ovanstående beskrivning, samt utspädningskoefficienter ( $\alpha$ ).

	Referenskoncentrationer RfC eller RISK <sub>inh</sub> justerade [mg/m <sup>3</sup> ]		Utspädnings- koefficient ( $\alpha$ ) från SGVIM	Beräknade grundvattenriktvärden utifrån boende på markplan (avrundade) [µg/l]
Bensen	0,0017	RISK <sub>inh</sub>	0,00037	120
Toluen	0,13	RfC*0,5	0,00028	10 000
Etylbensen	0,385	RfC*0,5	0,00032	28 000
Xylen	0,05	RfC*0,5	0,00028	4 900
Alifater >C5 - C8	3	RfC*0,5	0,00033	460
Alifater >C8 - C10	0,5	RfC*0,5	0,00033	33
Alifater >C10 - C12	0,5	RfC*0,5	0,00033	23
Alifater >C12 - C16	0,5	RfC*0,5	0,00033	30
Aromater >C8 - C10	0,1	RfC*0,5	0,00033	2 100
Aromater >C10 - C16	0,1	RfC*0,5	0,00033	33 000
Naftalen	0,0015	RfC*0,5	0,00025	3 000
Fluoren	0,000048	RISK <sub>inh</sub> *2	0,00018	830
Fenantren	0,000048	RISK <sub>inh</sub> *2	0,00014	1 800
Antracen	0,000048	RISK <sub>inh</sub> *2	0,00016	1 900
Fluoranten	0,00000048	RISK <sub>inh</sub> *2	0,00027	50
Pyren	0,000024	RISK <sub>inh</sub> *2	0,00037	2 500

## 8 UTVÄRDERING AV FRAMTAGNA GRUNDVATTENRIKTVÄRDEN

Som med alla andra riktvärden finns det osäkerheter i de nu framtagna riktvärdena avseende ånginträngning i byggnader med källare i kontakt med grundvattnet. Osäkerheterna består framförallt i osäkerheter avseende ämnesdata, framförallt för alifat- och aromatfraktioner. Valet av ämnesdata från tillgängliga källor bedöms vara måttligt konservativt. Det finns även en viss osäkerhet över modellens känslighet för olika ingående parametervärden för byggnadens egenskaper. Den byggnadstekniska faktor som främst verkar påverka skattningen av alfavärdet ( $\alpha$ ), dvs. utspädningsfaktorn till inomhusluft, bedöms vara tortuositeten, dvs. betongens genomsläpplighet. Tortuositeten har utvärderats med hjälp av byggnadsprojektör (se Bilaga 1) och ansatts till ett värde som kan antas gälla för en vattentät betong. Sammantaget bedöms därför antaganden och indata för framtagandet av föreliggande grundvattenriktvärdena vara konservativa.

I Tabell 10 jämförs skattade representativa halter inom Loudden (UCLM 95) och Södra Värtan (90:e percentilen) med riktvärden beräknade med SGVIM. Inom Södra Värtan överskrider 90:e percentilen av alifater >C10-C16 i det övre magasinet och >C12-C16 i det undre magasinet riktvärdet. Inom delområdet Mellersta Louddenkajen överskrider samtliga alifatfraktioner riktvärdena (med stor marginal). Varken inom Södra Värtan eller Loudden överskrider riktvärdena för BTEX eller PAH.

Tabell 10. Jämförelse av representativa medelhalter av flyktiga ämnen i grundvatten inom Södra Värtan (90:e percentilen) och Loudden (UCLM 95) med grundvattenriktvärden avseende ånginträngning för bostäder i bottenplan, i byggnad med källarplan under grundvattenytan. Skuggning visar värden som överstiger riktvärden. Enhet: µg/l.

Ämne	Södra Värtan***		Loudden delområden							SGVIM GV- PSRV
[µg/l]	Övre magas in	Undre magas in	SÖ Loudden- kajen	Mellersta Loudden-kajen	NV Loudden- kajen	Cistern- områden	Utlastnings- zon	Container- hamnen, ursprunglig mark	Container- hamnen, utfylld vik	
	90-percentil		Medelhalt (UCLM 95)							
Bensen	0,27	1,2	**	6,4	**	**	**	**	**	120
Toluen	0,1	0,1	**	7	**	**	**	**	**	10 000
Etylbensen	0,1	0,44	**	6,7	**	**	**	**	**	28 000
Xylen	0,24	0,4	**	30	**	**	**	**	**	4 900
Alifat >C5-C8	18	5	**	1350 (158 <sup>(1)</sup> )	**	**	**	**	**	460
Alifat >C8-C10	5	5	**	1720 (343 <sup>(1)</sup> )	**	**	**	**	**	33
Alifat >C10-C12	64	5	**	1250 (723 <sup>(1)</sup> )	**	**	**	20	**	23
Alifat >C12-C16	146	37	**	2600 (1820 <sup>(1)</sup> )	**	**	**	**	**	30
Aromat >C8-C10	2,4	1,9	**	346	**	**	**	**	**	2 100
Aromat >C10-C16	2,3	3	**	511	**	**	**	**	**	33 000
Naftalen										3 000
Acenaften	0,57	0,41	**	18 (5,4 <sup>(1)</sup> )	0,68	1 <sup>(2)</sup>	**	0,29 (0,05 <sup>(1)</sup> )	**	
Acenaftylen										
Fluoren										830
Fenantren										1 800
Antracen	0,99	1,1	0,4	23 (3,5)	0,31 <sup>(2)</sup>	0,8 <sup>(2)</sup>	**	4,2	**	1 900
Fluoranten										50
Pyren										2 500

\*\* : Halter under rapporteringsgräns eller endast ett mätvärde över rapporteringsgräns

\*\*\* Statistiken härrör från utkast av riskbedömningsrapport och kan komma att justeras till slutversion, storleksordningarna bedöms vara korrekta

<sup>(1)</sup> UCLM95 utan outlier

<sup>(2)</sup> maxhalt



## 9 REFERENSER

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) / Health Canada, 2011. Spreadsheet tool for Human Health for Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA).

Elert, Mark (2021). E-postkommunikation med Mark Elert, Kemakta Konsult 2021-03-11.

Golder, 2019. Fördjupad ångutredning vid Kolkajen – Ropsten, Sammanfattande PM. Bilaga 3 Miljö- och hälsoriskbedömning Kolkajen och Ropsten, Norra Djurgårdsstaden, daterad 2019-10-24.

Golder, 2020. Mätbara åtgärds mål för bensen och PAH i grundvatten vid Kolkajen-Ropsten. Bilaga E till Riskvärdering för landområdet vid Kolkajen-Ropsten

Naturvårdsverket, 2009. Riktvärden för förorenad mark. Rapport 5976. Uppdatering 2016.

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group (TPHCWG), 1997. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group series: Volume 3: Selection of representative TPH fractions based on fate and transport considerations.

US EPA, 2017. Johnson & Ettinger spreadsheet for modelling subsurface vapor intrusion.

WSP, 2021a. PM Lärdomar kring ångtransport från Kolkajen-Ropsten att använda i Loudden och Södra Värtan, Norra Djurgårdsstaden, Stockholm

WSP, 2021b. Norra Djurgårdsstaden, Loudden och Containerhamnen Riskbedömning förorenad mark. Granskningsversion 3 2021-10-08

# BILAGA 1: BYGGNADSTEKNISK UTREDNING AV OLIKA KONSTRUKTIONSTYPER FÖR FRAMTAGANDE AV INGÅNGSDATA TILL MODELLERING AV ÅNGTRANSPORT

## Uppdrag och syfte

WSP Sverige AB utför på uppdrag av Stockholms stads Exploateringskontor en modellering av ånginträngning i byggnader med kontakt med grundvattenytan, med syfte att få fram grundvattenriktvärden som kan användas inom Norra Djurgårdsstaden i Stockholm stad. För att säkerställa att de byggnadstekniska parametrar som används som indata i modellerna motsvarar de typer av byggnader som generellt uppförs i områden som Norra Djurgårdsstaden, har en kortfattad byggnadsteknisk utredning genomförts. Fyra scenarier har utretts:

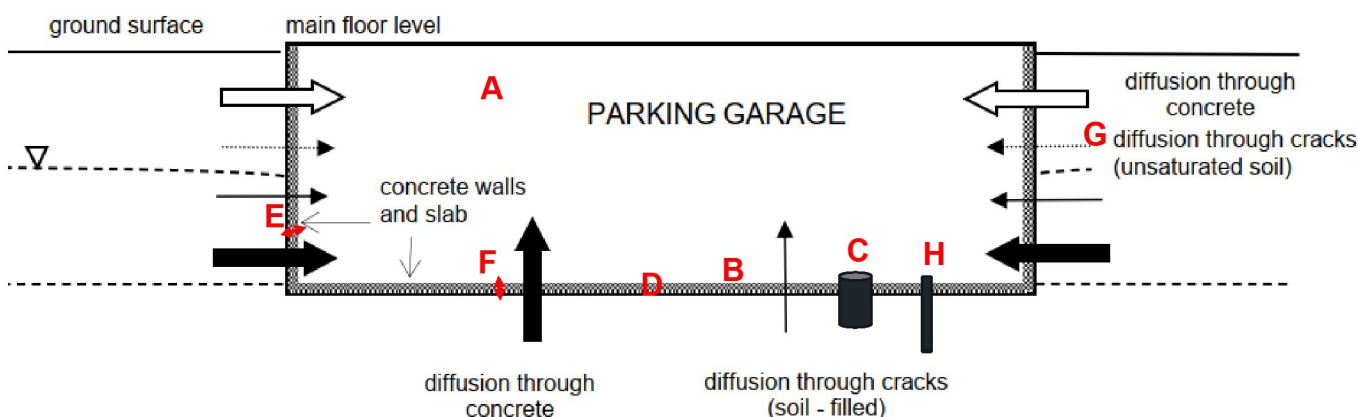
1. Generellt fall
2. Radontätt
3. Radonsäkert
4. Under grundvattenytan

Informationen ska användas som underlag i modellering med *Golder Shallow Groundwater Vapor Intrusion Model* (SGVIM), men kan även användas i modellering med andra modeller.

Byggnadsteknisk expert har varit Andreas Ljungberg, byggnadsprojektör på WSP Sverige AB.

De byggnadstekniska indata som behövs i SGVIM är (se även Figur 1):

- A. Luftomsättning [1/timme]
- B. Bottenplattans storlek [ $\text{m}^2$ ]
- C. Eventuella pumpgrupps totala area [ $\text{m}^2$ ]
- D. Tortuositetsfaktor, ett mått på betongens täthet [-]
- E. Betongväggarnas mäktighet [m]
- F. Bottenplattans mäktighet [m]
- G. Betongens sprickighet [andel]
- H. Genomföringar



Figur 1. Byggnadstekniska indata i SGVIM-modellen.

## Antaganden

Det antas att husen vid Norra Djurgårdsstaden är flerbostadshus, som uppförs i betong enligt Eurokoder och svensk byggstandard. Det antas att källarplan utgörs av parkeringsgarage eller förråd i ett plan. En motsvarande byggnad, bestående av ett parkeringsgarage med källarplan under grundvattenytan har uppförts inom Dalenumrådet på Lidingö och har använts som exempelbyggnad för scenariot med byggnad under grundvattenytan.

## Byggnadsteknik

### Generellt fall

Om byggnaden varken behöver vara skyddad mot radon eller grundvatteninträngning utförs grundkonstruktionen med traditionell bottenplatta med sprickviddskrav och beständighetskrav enligt EKS. Betongväggar har generellt en mäktighet på 25 cm medan bottenplattan är mindre mäktig, ca 15 cm (Ljungberg, A. 2021). Sprickor i betongen undviks genom att betongen inte tillåts torka för snabbt (vilket kan ge upphov till krympsprickor) och genom att med en god undergrund undvika sättningar (Beyer, 2018). Vid gjutning av stora byggnadsytor gjuts ofta plattan i sektioner för att undvika krympsprickor. Sektionerna tätas med rörelsefogar i varje dilationsfog som tillåter att sektionerna rör sig utan att sprickor uppkommer. Andelen sprickor som kan uppstå i betongplattan i övrigt antas vara 0,12 % Sprickvidden beräknas enligt eurokod 2 där man tar hänsyn till betongens krympning och armeringens draghållfasthet. I detta fall är procentsatsen erhållen från ett referensprojekt eftersom det ännu inte finns fastställd betongkvalitet eller armeringsmängd för de aktuella byggnaderna i Norra Djurgårdsstaden. I det generella fallet kan genomföringar, för



t.ex. vatten och avlopp, elledningar etc görs i källarväggar eller källargolv. Dessa tätas normalt med radonstos eller radonmanschett som träs över röret (Beyer, 2018).

I SGVIM-modellen kan en sump, eller pumpgrop, inkluderas. I modellen antas denna dock vara helt öppen mot mark, och sådana pumpgropar byggs inte i svenska hus. Därmed antas inget av fallen ha någon sump, enligt SGVIM-modellen benämning.

## Radonskyddat

Vid grundläggning på mark ställer Boverket krav på radonförebyggande åtgärder för att se till att väggar och golv inte är uppenbart otäta mot marken. Detta görs t.ex. genom armering, att inte tillåta betongen att torka för snabbt och genom att vara noggrann med undergrunden. Detta kan benämnas *radonskyddat* byggande. Idag är radonskyddat i stort sett ett minimikrav, vilket innebär att en radonskyddad byggnad inte skiljer sig från det generella fallet som beskrivs ovan.

## Tortuositet

I SGVIM-modellen används tortuositet som ett mått på betongens genomsläpplighet. Denna påverkas av förhållandet mellan cement och vatten i betongen. Ju mindre vatten i förhållande till cementen, desto lägre tortuositetsfaktor, dvs mindre vatten ger en tätare betong. Tortuositetsfaktorer har utretts i ett antal empiriska studier<sup>1</sup> som en del av framtagandet av SGVIM-modellen och har funnits variera mellan ca 0,1 och 0,001, där 0,1 kan representera en dålig och gammal betong medan 0,001 kan representera en vattentät betong. Vid diskussioner med Dr Ian Hers har en tortuositetsfaktor på 0,004 funnits rimlig för vattentät betong. För det generella fallet och radonskyddat används högre tortuositetsfaktorer; 0,013 och 0,01, vilka härrör från en invertering av tortuositetsvärden från Ahmad et al, 2005.

## Radonsäkert

Om hus byggs på mark med höga radonhalter (s.k. högradonmark) utför man grundkonstruktioner med ett radonsäkert utförande (i övriga fall räcker radonskyddat utförande, se ovan). Det radonsäkra utförandet skyddar mot transport av radongas, och antas ofta vid bedömningar av risker med förorenad mark även skydda mot transport av andra gaser.

Skillnaden mot det generella fallet är att man vid radonsäkert utförande gjuter en bottenplatta med ett sprickviddskrav som motsvarar vattentät betong och begränsar andelen sprickor med hjälp av mer sprickarmering. Man kan också placera ut radondukar eller anlägga en radonbrunn, men dessa ses inte som en förutsättning för att bygga radonsäkert i detta fall. Genomföringar och skarvar görs helt lufttäta.

I tidigare detaljplaner inom Norra Djurgårdsstaden har krav ställts på "gastät grundläggning", vilken definierats att *vid en lägsta skyddsnivå uppfylla kraven för radonsäker grund* (Stockholms stads Exploateringskontor, 2020)

## Under grundvatten

Vissa byggnader inom Norra Djurgårdsstaden kommer i praktiken att ha ett underjordiskt garage som hamnar under medelgrundvattenytan. I dessa fall kommer man att bygga vattentätt. Det innebär att man använder vattentät betong, vilket är ett krav på betongreceptet avseende mängden inblandat finkornigt material. Detta sänker permeabiliteten i betongen och medför ofta att vattenhalten i betongen blir lägre och därmed blir tortuositeten lägre. Ibland kompletteras också med extra tätskikt. Andelen sprickor och sprickvidden begränsas precis på samma sätt som vid radonsäkert

<sup>1</sup> En sammanställning har erhållits av Dr Ian Hers, och har inkluderat Musielak et al, *Haghighat and Huang (2003)*, *Haghighat and Huang (2003)*, *De Biase et al. (2014)*, *Renken and Rosenberg (1995)*.

byggande. Eftersom betongen har högre hållfasthet blir också tortuositetsfaktorn lägre. Ett värde på 0,004 används i beräkningarna, enligt ovan.

## Summering av byggnadstekniska parametrar och indata till modeller

I Tabell 1 summeras de byggnadstekniska indata som föreslås användas som indata till modeller av ångtransport in i byggnader, för de tre typfallen av byggnader som kan komma att uppföras inom Norra Djurgårdsstaden.

Tabell 1. Byggnadstekniska indata för fyra olika byggnadsscenarier, samt standard indata från Johnson & Ettinger-modellen (J&E) och Naturvårdsverkets modell (NV). I tabellen anges även de indata som användes i tidigare modellering. Där inga värden anges finns inga standardvärden att tillgå

	Byggnadsteknisk indata	Tidigare modellering	J&E standard	NV standard	Generellt fall & radon-skyddat	Radon-säkert	Under grundvatten	enhet
A	Luftomsättning	0,5		0,5	0,65	0,65	0,65	[1/timme]
B	Bottenplattans area	300		100	800	800	800	[m <sup>2</sup> ]
C	Sump area	0			0	0	0	[m <sup>2</sup> ]
D	Tortuositetsfaktor	0,01			0,01	0,01	0,004	[-]
E	Betongväggars mäktighet	0,25			0,25	0,25	0,30	[m]
F	Bottenplattans mäktighet	0,25			0,15	0,20	0,35	[m]
G	Betongens sprickighet	0,001	0,001		0,0012	0,001	0,001	[andel]
H	Genomföringar	Nej			Ja, tätade	Ja, tätade	Nej	

## Referenser

**Ahmad, S et al.** 2005. A study of permeability and tortuosity of concrete. Conference paper for 30<sup>th</sup> Conference on Our World in Concrete and Structures, 23-24 August 2005, Singapore

**Beyer,** 2018. Radon och grundläggningsmetoder – att utforma allmänna föreskrifter. Bachelor thesis in Building Engineering 15.0 Credits Umeå Universitet

**Ljungberg, A.,** 2021. Byggnadskonstruktör, gruppchef och uppdragsansvarig vid WSP Sverige AB, med 16 års erfarenhet inom byggprojektering.

**Stockholms stads Exploateringskontor,** 2020. Uppföljning av gas- och vattentäta konstruktioner för byggnader inom Norra Djurgårdsstaden – Detaljplan Gasklocka 3 och 4.



## VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 48 700 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

**wsp.com**

**WSP Sverige AB**  
Dragarbrunnsgatan 41  
753 20 Uppsala  
Besök: Dragarbrunnsgatan 41

T: +46 10-722 50 00  
Org nr: 556057-4880  
**wsp.com**

